ФИЗИЧЕСКОЕ ОБОЗРѢНІЕ

1902 г. ТОМЪ 3 No. 5

Демонстрація пондеромоторныхъ силъ, возникающихъ при электризаціи

Я. Н. Жука.

Максвелль впервые указалъ на систему сжатій и натяженій, возникающихъ въ діэлектрикахъ при электризаціи заключенныхъ въ нихъ проводниковъ. Эти сжатія вдоль силовыхъ линій и натяженія по направленіямъ перпендикулярнымъ къ этимъ линіямъ уравновѣшиваются сами собою во всемъ объемѣ діэлектрика; не уравновѣшенными остаются только силы, приложенныя къ элементамъ поверхности раздѣла проводниковъ и діэлектриковъ или двухъ діэлектриковъ. Впослѣдствіи Гельмгольцъ, Кирхгоффъ, Лоренцъ, пр. Шиллеръ и др. разработали теорію пондеромоторныхъ силъ, возникающихъ при электризаціи.

Въ настоящей замѣткѣ я опишу рядъ опытовъ, демонстрирующихъ эти силы.

I. Силы, возникающія у поверхности проводниковъ.

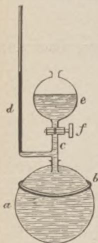
Опытъ 1. Деформація проводниковъ.

Теорія показываетъ, что у границы наэлектризованныхъ проводниковъ и окружающихъ ихъ діэлектриковъ, возникаютъ пондеромоторныя силы, приложенныя къ каждому элементу поверхности раздѣла; эти силы направлены внутрь діэлектрика и ве-

личина ихъ зависитъ отъ напряженія поля и діэлектрической постоянной среды.

Чтобы сказанныя силы, наблюдаемыя нами, вызвали перемѣщенія проводниковъ, необходимо допустить, что существуетъ связь между діэлектрикомъ и проводникомъ или что эти силы приложены къ поверхности проводника; очевидно, что въ обоихъ случаяхъ наэлектризованный проводникъ долженъ подвергнуться нѣкоторой деформаціи, а именно увеличенію объема.

Въ послѣднемъ легко убѣдиться, произведя опытъ по нижеслѣдующей схемѣ. Резиновый баллонъ *a* (фиг. 1), покрытый лакомъ и обсыпанный графитовымъ порошкомъ, представляетъ проводникъ, который легко можетъ деформироваться; на баллонъ надѣто металлическое кольцо *b*, соединенное съ однимъ изъ борновъ электрической машины, второй борнъ которой отведенъ къ землѣ.



Фиг. 1.

Чтобы слѣдить за измѣненіемъ объема баллона, къ нему присоединяется стеклянная трубка *c* съ боковымъ капиллярнымъ отвѣтвленіемъ *d*; трубка *c* оканчивается резервуаромъ *e*; кранъ *f* служитъ для разобщенія этого резервуара отъ баллона *a* и капилляра *d*; открывъ кранъ *f*, наполнимъ баллонъ *a* и часть резервуара *e* какою-либо жидкостью, которая проникнетъ и въ капилляръ *d*, гдѣ остановится на нѣкоторомъ уровнѣ. Закроемъ теперь кранъ *f*. Очевидно, малѣйшія измѣненія въ объемѣ баллона *a* будутъ отзываться на высотѣ уровня жидкости въ капиллярѣ.

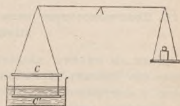
Если станемъ теперь электризовать баллонъ *a*, то замѣтимъ, что уровень жидкости въ капиллярѣ опускается. При разрядѣ баллона, онъ медленно поднимается и вновь возвращается къ своему прежнему положенію.

При емкости баллона около 100 cm.^{3}, жидкость въ капиллярѣ опускалась на 5—8 mm., что въ данномъ приборѣ соотвѣтствовало увеличенію емкости отъ 3 до 5 милліонныхъ первоначальнаго значенія.

Опытъ 2. Движенія плоскаго конденсатора.

Если проводники окружены какою-либо однородною діэлектрическою средою (діэлектрическая постоянная коей повсюду постоянна), то система пондеромоторныхъ силъ сводится къ взаимнымъ силамъ, дѣйствующимъ только между проводниками. Но даже въ случаѣ двухъ проводниковъ силы, приложенныя къ нимъ, не будутъ взаимны, если проводники погружены въ различные діэлектрики. Это легко обнаружить, производя опытъ по схемѣ, указанной пр. Шиллеромъ [1]).

Къ одной изъ чашекъ чувствительныхъ вѣсовъ подвѣсимъ на шелковинкахъ плоскій конденсаторъ C, C' (фиг. 2), состоящій изъ двухъ легкихъ пластинокъ, неизмѣнно соединенныхъ между собою тонкими стеклянными трубками. Нижнюю пластинку конденсатора погрузимъ въ жидкій изоляторъ, напр. въ скипидаръ; жидкость наливается въ широкій сосудъ, поддерживаемый отдѣльною стойкою. Къ пластинкамъ конденсатора припаяны тонкія латунныя проволоки, съ помощью которыхъ верхняя пластинка соединяется съ однимъ изъ борновъ электрической машины, а нижняя пластинка отводится къ землѣ.



фиг. 2.

Если мы уравновѣсимъ нашу систему, состоящую изъ двухъ пластинокъ—одной, находящейся въ воздухѣ, а другой въ жидкости, и сообщимъ разность потенціаловъ этимъ пластинкамъ (электризуя верхнюю), то замѣтимъ, что равновѣсіе системы нарушается: конденсаторъ начнетъ опускаться, нижняя пластинка будетъ погружаться все глубже и глубже, и слѣдовательно слой жидкости между пластинками будетъ увеличиваться.

Очевидно, равнодѣйствующія силъ, приложенныхъ къ пластинкамъ, не равны другъ другу.

Видоизмѣнивъ нѣсколько нашъ приборъ, мы можемъ заставить конденсаторъ подниматься вверхъ; для этого стоитъ только къ коромыслу вѣсовъ подвѣсить раму, сдѣланную изъ эбонитовыхъ

[1]) См. „Нѣсколько замѣчаній по поводу изслѣдованій по математической физикѣ кн. Голицына". Проф. Н. Н. Шиллеръ. Кіевъ. 1894 г.

пластинокъ; рама должна охватывать сосудъ, не касаясь его; къ верхней перекладинѣ рамы подвѣсимъ на шелковинкахъ пластинку, погружающуюся въ жидкость; вторую же пластинку будемъ помѣщать или на верхней перекладинѣ рамы или на нижней. Въ первомъ случаѣ при сообщеніи разности потенціала пластинкамъ, конденсаторъ будетъ опускаться, а во второмъ подниматься.

Замѣтимъ, что въ обоихъ случаяхъ слой жидкости между пластинками конденсатора увеличивается, а слѣдовательно увеличивается и емкость его. Что касается слоя стекла, то присутствіе его при второмъ положеніи пластинки нисколько не вліяетъ на ходъ опыта.

II. Пондеромоторныя силы, возникающія у границы двухъ діэлектриковъ.

Если мы имѣемъ наэлектризованную систему, состоящую только изъ разныхъ діэлектриковъ или состоящую изъ проводниковъ и окружающихъ ихъ разныхъ діэлектриковъ, то у границы каждыхъ двухъ діэлектриковъ возникаютъ, какъ извѣстно, пондеромоторныя силы, приложенныя къ каждому элементу поверхности раздѣла; величина этихъ силъ зависитъ отъ напряженія поля вблизи даннаго элемента и діэлектрическихъ постоянныхъ этихъ діэлектриковъ.

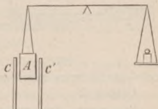
Въ вышеописанномъ опытѣ подвижнаго конденсатора при возникновеніи разности потенціаловъ на его пластинкахъ у поверхности раздѣла жидкости и воздуха возникали силы, приложенныя къ жидкости и направленныя внутрь воздуха по нормалямъ къ поверхности раздѣла. Равнодѣйствующая этихъ силъ, слагаясь съ равнодѣйствующею силою, приложенною къ пластинкѣ, погруженной въ жидкость, равна и противоположна равнодѣйствующей пондеромоторныхъ силъ, приложенныхъ къ пластинкѣ, находящейся въ воздухѣ. Чтобы убѣдиться въ этомъ пришлось бы еще болѣе усложнить схему предыдущаго опыта. Но дѣйствія пондеромоторныхъ силъ весьма удобно обнаружить по схемамъ, указаннымъ проф. Шиллеромъ въ вышеупомянутой статьѣ.

Для ожидаемыхъ перемѣщеній различныхъ частей системы, мы можемъ пользоваться слѣдующимъ правиломъ: при электризаціи какой-либо системы возникаютъ силы, стремящіяся увели-

чить емкость этой системы; при этомъ происходитъ или перемѣщеніе самихъ проводниковъ или замѣщеніе однихъ діэлектриковъ другими въ зависимости, конечно, отъ связи данной системы.

Опытъ 3. Пондеромоторныя силы, возникающія у границы твердаго діэлектрика.

Къ одной изъ чашекъ чувствительныхъ вѣсовъ подвѣсимъ цилиндръ A (фиг. 3) изъ какого-нибудь твердаго діэлектрика и уравновѣсимъ его; цилиндръ этотъ помѣстимъ между вертикальными обкладками C и C' плоскаго конденсатора, соединенными съ борнами электрической машины.



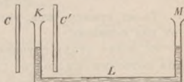
фиг. 3.

Если обкладкамъ конденсатора сообщимъ разность потенціала, то цилиндръ втянется въ конденсаторъ, емкость котораго при этомъ, очевидно, увеличится.

Пондеромоторныя силы, появившіяся при возникновеніи разности потенціаловъ на боковой поверхности цилиндра, уравновѣшиваются сами собой; силы же, приложенныя къ нижней поверхности, остаются не уравновѣшенными и вызываютъ наблюдаемое перемѣщеніе.

Опытъ 4. Силы, возникающія у границы жидкихъ діэлектриковъ.

Возьмемъ горизонтальную капиллярную трубку KLM (фиг. 4) съ отогнутыми вверхъ концами; одинъ изъ этихъ концовъ помѣстимъ между пластинками конденсатора C, C'. При зарядѣ конденсатора жидкость въ трубкѣ K поднимается, а въ трубкѣ M опускается. Это показываетъ намъ, что въ электрическомъ полѣ конденсатора на границѣ жидкости и воздуха, возникаютъ пондеромоторныя силы, подъ дѣйствіемъ коихъ и происходятъ перемѣщенія, увеличивающія емкость системы.

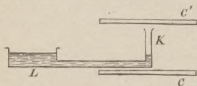


фиг. 4.

Опытъ 5.

Въ предыдущемъ опытѣ направленіе пондеромоторныхъ силъ, было перпендикулярно къ направленію силы поля. Впрочемъ не-

трудно доказать, что подобныя силы развиваются и по направленію поля. Дѣйствительно, если трубку K (фиг. 5) помѣстить внутри конденсатора CC' перпендикулярно къ его обкладкамъ, то и въ этомъ случаѣ наблюдается поднятіе жидкости, т. е. увеличеніе емкости конденсатора и слѣдовательно возникновеніе пондеромоторныхъ силъ, совпадающихъ съ направленіемъ силовыхъ линій.

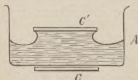


фиг. 5.

Замѣтимъ, что въ болѣе широкихъ трубкахъ чаще всего поднятіе жидкаго діэлектрика замѣчается лишь у ихъ краевъ.

Опытъ 6.

Возьмемъ широкій плоскій сосудъ A (фиг. 6); наполнимъ его скипидаромъ и поставимъ на металлическую пластинку C, отведенную къ землѣ; надъ сосудомъ, вблизи его свободной поверхности, укрѣпимъизолированный кружокъ C', соединенный съ электрической машиною. Каждый разъ при зарядѣ послѣдняго кружка жидкость подъ нимъ будетъ приподниматься и если кружокъ достаточно близокъ къ поверхности жидкости, то жидкость прилипнетъ къ нему, какъ это представлено на чертежѣ. При разрядѣ кружка жидкость опускается и свободная ея поверхность становится горизонтальною.



фиг. 6.

То же происходить, если верхній кружокъ замѣнить шарикомъ или остріемъ.

Во всѣхъ этихъ случаяхъ явленіе усложняется конвекціонными потоками жидкости, такъ какъ ни одинъ діэлектрикъ не представляетъ намъ идеальнаго изолятора. Даже въ жидкомъ парафинѣ, окружающемъ наэлектризованный проводникъ, наблюдается проникновеніе зарядовъ внутрь діэлектрика: наэлектризованныя частицы отталкиваются, уступая мѣсто другимъ, поднимающимся частицамъ; такимъ образомъ возникаютъ восходящіе и нисходящіе потоки жидкости.

Явленіе это весьма хорошо замѣтно на такихъ полупроводникахъ, какъ скипидаръ и рициновое масло. Если въ сосудъ налить два слоя различныхъ жидкостей, напр., бензина и пара-

финоваго масла то достаточно двухъ, трехъ оборотовъ электрической машины, чтобы — вслѣдствіи возникновенія конвекціонныхъ потоковъ—жидкости совершенно перемѣшались.

Опытъ 7.

Подобные же конвекціонные потоки наблюдаются и въ конденсаторѣ, между пластинками котораго налить какой-либо жидкій діэлектрикъ. Такъ напр. если въ кубическій стеклянный сосудъ налить скипидару и въ него погрузить двѣ металлическія пластинки, соединенныя съ борнами электрической машины, то при дѣйствіи машины ясно замѣтны струйки жидкости, направляющіяся отъ одной пластинки къ другой.

Благодаря этимъ конвекціоннымъ потокамъ и происходятъ вращенія твердыхъ діэлектриковъ, помѣщающихся между пластинками конденсатора, погруженнаго въ какую-нибудь жидкость. Какъ извѣстно, на эти вращенія впервые обратилъ вниманіе Квинке. Что эти движенія обусловлены конвекціонными потоками жидкости, легко убѣдиться, вынувъ пластинки изъ сосуда и прикрѣпивъ ихъ къ внѣшней сторонѣ его стѣнокъ. Напряженіе и направленіе поля могутъ остаться прежними, но конвекціонные потоки уничтожены (или по крайней мѣрѣ значительно ослаблены), вмѣстѣ съ этимъ прекращается и вращеніе твердыхъ діэлектриковъ.

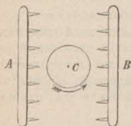
Опытъ 8. Вращеніе твердыхъ діэлектриковъ въ воздухѣ.

По наблюденіямъ Квинке, въ полѣ воздушнаго конденсатора твердые діэлектрики не испытываютъ вращеній; объясняется это тѣмъ, что конвекціонные токи, возникающіе въ полѣ воздушнаго конденсатора, чрезвычайно ничтожны.

Но если вмѣсто конденсатора взять пару металлическихъ гребешковъ A и B (фиг. 7) и расположить ихъ горизонтально, одинъ противъ другого, а между ними помѣстить подвѣшенный на нити эбонитовый цилиндръ C, то онъ начинаетъ вращаться, какъ скоро гребешкамъ сообщаются противоположные заряды; объясняется это тѣмъ, что острія быстро теряютъ свои заряды, и въ воздухѣ образуются конвекціонные потоки.

Что вращеніе вызывается здѣсь конвекціонными потоками воздуха, это легко видѣть изъ того, что если помѣстить стеклянныя пластинки между гребешками и цилиндромъ, то послѣдній не вращается. Эти пластинки уничтожаютъ конвекціонные потоки, а вмѣстѣ съ тѣмъ прекращается и вращеніе цилиндра.

Замѣтимъ, что если цилиндръ подвѣшенъ на нити, то движеніе, разъ начавшееся въ извѣстномъ направленіи, спустя нѣкоторое время прекращается; затѣмъ цилиндръ начинаетъ вращаться въ обратномъ направленіи; чрезъ нѣкоторое время цилиндръ снова останавливается и мѣняетъ направленіе своего вращенія и т. д. Если же цилиндръ поставленъ на остріе, то разъ начавшееся вращеніе въ опредѣленномъ направленіи продолжается до тѣхъ поръ пока гребешки A и B остаются наэлектризованными. В. К. Роше указалъ на полную аналогію между лекціоннымъ опытомъ обратимости электрическихъ машинъ и описываемыми здѣсь вращеніями. Въ самомъ дѣлѣ, подобно тому, какъ электрическіе заряды, истекающіе съ остріевъ кондукторовъ машины, заряжаютъ ея подвижный кругъ и заставляютъ его вертѣться, точно также и въ описываемомъ нами опытѣ электричества, истекающія съ остріевъ, заряжаютъ ближайшія къ нимъ части цилиндра; подъ дѣйствіемъ возникшихъ отталкивательныхъ силъ (дѣйствующихъ между остріями и ближайшими къ нимъ частями цилиндра) цилиндръ находится въ положеніи неустойчиваго равновѣсія; достаточно самой ничтожной причины, чтобы онъ пришелъ во вращеніе. Разъ начавшееся движеніе будетъ непрерывно продолжаться, если цилиндръ находится на остріѣ; если же цилиндръ подвѣшенъ на нити, то вращеніе въ одну сторону будетъ продолжаться до тѣхъ поръ, пока крученіе нити не остановитъ его; затѣмъ вращеніе начинается въ противоположномъ направленіи и т. д.



фиг. 7.

Кинетическая теорія растворовъ

П. А. Зилова.

1. Если твердое вещество, напр. сахаръ или какую-нибудь соль, опустить въ жидкость или если одну жидкость прилить

къ другой, то можетъ получиться однородная жидкость, такъ называемый *растворъ*: опущенное твердое тѣло или прилитая жидкость *растворяются*, т. е. раздѣляются на частицы, которыя распредѣляются равномѣрно по всей жидкости; твердое тѣло раствора называется *растворенньмъ*, а жидкость—*растворителемъ*. Если растворителемъ служитъ вода, то растворъ называется *воднымъ растворомъ*.

Масса растворенпаго вещества, дѣленная на массу растворителя, называется *концентраціею* раствора; при вычисленіи концентраціи воднаго раствора массу растворителя можно замѣнить его объемомъ; такимъ образомъ если m граммовъ какого-нибудь вещества растворено въ V куб. центиметрахъ воды, то получается растворъ, концентрація котораго $C = m/V$. Впрочемъ крѣпость раствора можно характеризовать и иначе; если въ N gr-mol. воды растворено n gr-mol. какого-нибудь вещества, то дробь n/N называется *молекулярною концентраціею* такого раствора.

Если въ растворъ опустить еще того же самаго вещества, которое уже растворено, то оно тоже растворяется, и концентрація раствора возростаетъ. Однако концентрацію раствора нельзя увеличивать безпредѣльно: прибавляя постепенно къ раствору наше вещество, мы замѣтимъ, что съ извѣстнаго момента оно перестаетъ растворяться; растворъ тогда называется *насыщеннымъ*; концентрація насыщеннаго раствора увеличивается только съ повышеніемъ температуры.

Если насыщенный растворъ быстро охладить, то часть соли выкристаллизовывается, и получается растворъ той концентраціи, которая соотвѣтствуетъ данной температурѣ. Но можно приготовить *пересыщенный растворъ*; для этого стоитъ только медленно охладить насыщенный растворъ; тогда изъ него не выкристаллизовывается соль, а получается растворъ, концентрація котораго больше, чѣмъ концентрація насыщеннаго раствора при соотвѣтственной температурѣ. Если въ пересыщенный растворъ бросить кусочекъ соотвѣтственной соли, то онъ быстро разростается: изъ раствора мгновенно выкристаллизовывается соль, и концентрація его падаетъ до соотвѣтствующаго предѣла.

Это краткое описаніе образованія раствора напоминаетъ ту картину, которую мы наблюдаемъ при испареніи жидкости. Извѣстно, что если надъ жидкостью находится пустота или газъ, то жидкость отчасти испаряется, при чемъ пространство надъ жидкостью наполняется паромъ; когда этотъ паръ сдѣлается на-

сыщеннымъ, жидкость перестаетъ испаряться; если надъ жидкостью находится паръ большей упругости, чѣмъ упругость насыщенныхъ паровъ, то онъ отчасти осѣдаетъ. Такъ какъ—по своимъ свойствамъ и строенію—паръ тождественъ съ газомъ, то парообразованіе мы должны себѣ представлять такъ: изъ жидкости частицы вырываются въ свободное надъ нею пространство и тамъ, будучи разсѣяны, движутся прямолинейно и съ постоянною скоростью (пока не столкнутся съ другими частицами или не ударятся о стѣнку сосуда); своими ударами о непроницаемыя для нихъ стѣнки сосуда онѣ обусловливаютъ „давленіе" пара. Это свойство жидкости выбрасывать свои частицы обусловливается нѣкоторою дѣйствующею внутри нея силою, которую мы назовемъ ея *упругостью испаренія*. Если бы упругость испаренія дѣйствовала одна, то жидкость, какова бы ни была ея масса, вся испарилась; но мы знаемъ, что испареніе происходитъ тѣмъ медленнѣе, чѣмъ большей упругости находящійся надъ жидкостью паръ; мы знаемъ, что испареніе совершенно прекращается, когда паръ становится насыщеннымъ. Поэтому мы примемъ, что давленіе пара на жидкость противодѣйствуетъ ея упругости испаренія, что упругость насыщеннаго пара уравновѣшиваетъ упругость испаренія жидкости; иначе говоря, примемъ, что упругость испаренія всюду нормальна къ свободной поверхности жидкости и по величинѣ равна упругости ея насыщенныхъ паровъ при той же температурѣ.

Собственно говоря, пока имѣется смѣсь жидкости и пара, всегда происходитъ и испареніе жидкости и осѣданіе пара: частицы жидкости выдѣляются въ пространство надъ нею и въ то же время частицы пара врываются внутрь жидкости; если давленіе пара меньше упругости испаренія, число первыхъ частицъ больше числа вторыхъ, и жидкость испаряется; если давленіе пара больше упругости испаренія, число первыхъ частицъ меньше числа вторыхъ, и паръ осѣдаетъ; если наконецъ давленіе пара равно упругости испаренія, числа тѣхъ и другихъ частицъ одинаковы, то имѣетъ мѣсто равновѣсіе: надъ жидкостью находится насыщенный паръ.

Мы будемъ представлять себѣ, что растворъ—по аналогіи съ газомъ и паромъ—состоитъ изъ рѣдкихъ частицъ раствореннаго вещества, которыя движутся въ растворителѣ прямолинейно (пока не столкнутся съ другими частицами или не ударятся о стѣнку сосуда) и съ постоянною скоростью, величина коей за-

виситъ отъ природы этого вещества и отъ температуры; своими ударами о непроницаемыя для нихъ поверхности растворенныя частицы производятъ давленіе, которое называется *осмотическимъ давленіемъ*; это давленіе пропорціонально числу растворенныхъ частицъ въ единицѣ объема, т. е. концентраціи раствора, и подчиняется всѣмъ законамъ газовъ.

Если два раствора различныхъ концентрацій находятся въ соприкосновеніи, то происходитъ *диффузія растворовъ*, при чемъ концентраціи ихъ сравниваются: растворенныя частицы переходятъ отчасти изъ мѣста большаго осмотическаго давленія въ мѣсто меньшаго осмотическаго давленія, подобно тому, какъ два соприкасающихся газа различной упругости сравниваютъ свои упругости, при чемъ частицы газа отчасти переходятъ изъ мѣста большаго давленія въ мѣсто меньшаго давленія. Диффузія раствора въ соприкасающійся растворитель аналогично устремленію газа въ пустое пространство.

Изъ всего сказаннаго видно, что между растворомъ и газомъ существуетъ полная аналогія; такъ что если бы мы сумѣли удалить растворитель (воду) изъ раствора, ни въ чемъ не измѣняя растворенпаго вещества, то послѣднее оказалось бы въ газообразномъ состояніи; такимъ образомъ растворъ отличается отъ газа лишь растворителемъ: въ растворѣ это жидкость, а въ газѣ—эѳиръ.

Теперь обратимся къ самому процессу растворенія. Если соль растворяется, то значитъ ея частицы выдѣляются въ жидкость и, двигаясь, распространяются по ней. Это свойство соли выбрасывать въ жидкость свои частицы должно обусловливаться силою, которую мы будемъ называть ея *упругостью растворенія*. Если бы упругость растворенія дѣйствовала одна, то соль, какова бы ни была ея масса, вся растворилась; но растворение происходитъ тѣмъ медленнѣе, чѣмъ концентрированнѣе окружающій растворъ (т. е. чѣмъ больше растворенныхъ частицъ); растворение совершенно прекращается, когда растворъ становится насыщеннымъ. Поэтому мы примемъ, что осмотическое давленіе, производимое окружающимъ растворомъ на соль, противодѣйствуетъ ея упругости растворенія, что осмотическое давленіе насыщеннаго раствора уравновѣшиваетъ упругость растворенія соли; иначе говоря, примемъ, что упругость растворенія всюду нормальна къ поверхности соли и по величинѣ рав-

на осмотическому давленію ея насыщеннаго раствора при той же температурѣ.

Собственно говоря, пока имѣется смѣсь соли и раствора, всегда происходитъ и раствореніе соли и выкристаллизованіе раствора: частицы соли выдѣляются въ окружающую жидкость и въ то же время растворенныя частицы осѣдаютъ; если осмотическое давленіе раствора меньше упругости растворенія, число первыхъ частицъ больше числа вторыхъ, и соль растворяется; если осмотическое давленіе раствора больше упругости растворенія, число первыхъ частицъ меньше числа вторыхъ, и растворъ выкристаллизовывается; если наконецъ осмотическое давленіе раствора равно упругости растворенія, то числа тѣхъ и другихъ частицъ одинаковы: соль находится въ насыщенномъ растворѣ.

2. Какими опытами можно оправдать тѣ представленія, которыя мы составили о растворахъ?

Движеніе растворенныхъ частицъ доказывается явленіемъ диффузіи. Для его демонстрированія возьмемъ высокій цилиндрическій стаканъ и нальемъ въ него сперва растворъ мѣднаго купороса, а затѣмъ воду; при осторожномъ наливаніи послѣдней, жидкости не перемѣшиваются и рѣзко разграничены; но чрезъ нѣкоторое время эта граница размывается и жидкости мало по малу перемѣшиваются: растворенныя частицы мѣднаго купороса, двигаясь, поднимаются вопреки силы тяжести и проникаютъ въ воду.

Укажемъ еще опытъ, который бы обнаруживалъ осмотическое давленіе раствора. Но сначала припомнимъ простой опытъ, обнаруживающій упругость газа: возьмемъ стеклянный стаканъ A (фиг. 1) съ отогнутыми краями, плотно завяжемъ его гутаперчевымъ листомъ, поставимъ подъ колоколъ разрѣжающаго насоса и выкачаемъ воздухъ; при этомъ гутаперчевый листъ выпячивается вверхъ, чѣмъ и обнаруживаетъ то давленіе, которое онъ испытываетъ со стороны находящагося въ стаканѣ воздуха (сверху нѣтъ воздуха, тамъ пустота). Пожалуй, можно подумать, что къ этому дѣйствію воздуха присоединяется еще дѣйствіе эѳира, находящагося какъ внутри, такъ и внѣ стакана; но гута-



фиг. 1.



фиг. 2.

перча, какъ и всякое другое тѣло, проницаема для эѳира, и потому она движется въ эѳирѣ также свободно, какъ рѣшето въ водѣ; если газъ считать эѳирнымъ растворомъ, то весь смыслъ описаннаго опыта состоитъ въ томъ, что гутаперча непроницаема для растворённаго вещества и проницаема для растворителя; такъ что если гутаперча перемѣщается, то подъ вліяніемъ давленія одного воздуха; при расширеніи послѣдняго въ сосудѣ образуется пустота, которая заполняется свободно проникающимъ туда эѳиромъ.

И съ растворомъ можно сдѣлать совершенно аналогичный опытъ, который бы обнаружилъ намъ его осмотическое давленіе. Имѣя въ виду только-что сдѣланное замѣчаніе, надо лишь найти такую перегородку, которая была бы проницаема для растворителя и непроницаема для растворённаго вещества; такою *полупроницаемою* перегородкою для воднаго раствора сахара съ бо́льшимъ или меньшимъ успѣхомъ можетъ служить бычачій пузырь. Возьмемъ же опять стеклянный стаканъ A (фиг. 2) съ отогнутыми краями, наполнимъ его доверху крѣпкимъ растворомъ сахара, плотно затянемъ его бычачимъ пузыремъ (который привязанъ къ краямъ стакана) и погрузимъ въ сосудъ съ водою; чрезъ нѣкоторое время бычачій пузырь выпячивается вверхъ, чѣмъ и обнаруживаетъ то давленіе, которое онъ испытываетъ со стороны находящагося подъ нимъ раствора (сверху нѣтъ раствора; тамъ, такъ сказать, пустота). Подъ вліяніемъ ударовъ растворенныхъ частицъ бычачій пузырь перемѣщается; подъ нимъ образуется пустота, которая заполняется водою изъ окружающаго сосуда (ибо бычачій пузырь, хотя и медленно, но пропускаетъ чрезъ себя воду).

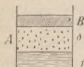
Полупроницаемую перегородку можно изготовить искуственно: при соприкосновеніи раствора желѣзисто-синеродистаго калія съ растворомъ мѣднаго купороса на поверхности соприкосновенія образуется тонкая студенистая пленка желѣзисто-синеродистой мѣди, которая проницаема для воды и непроницаема для цѣлаго ряда растворенныхъ въ водѣ веществъ; она свободно (хотя и небыстро) пропускаетъ чрезъ себя воду, и — подобно стеклянной или металлической стѣнки — не пропускаетъ растворённаго вещества. Для изготовленія полупроницаемой твердой перегородки стаканъ изъ полуобожженой глины (отъ гальваническаго элемента) наполняютъ трехпроцентнымъ раство-

ромъ желѣзисто-синеродистаго калія и погружають на нѣсколько дней въ трехпроцентный растворъ мѣднаго купороса; эти растворы соприкасаются внутри стѣнокъ стакана и тамъ образуютъ полупроницаемую пленку.

Такому опредѣленію полупроницаемыхъ перегородокъ соотвѣтствуютъ въ извѣстныхъ случаяхъ воздухъ и ледъ. Изъ раствора можетъ выдѣляться въ воздухѣ растворитель, но растворенное вещество не выдѣляется; если растворъ замораживать, то въ ледъ переходитъ одинъ только растворитель (вода). Если подъ колоколъ помѣстить два сосуда: одинъ съ водою, а другой съ воднымъ растворомъ, то вода изъ одного сосуда (испареніемъ и осѣданіемъ) можетъ переходить въ другой, растворенное же вещество всегда остается во второмъ сосудѣ; при этомъ раздѣляющій ихъ воздухъ играетъ роль полупроницаемой перегородки.

3. Полупроницаемыя перегородки играютъ важную роль въ опытахъ съ сжатіемъ и расширеніемъ растворовъ, представляющими полную аналогію съ сжатіемъ и расширеніемъ пара.

Представимъ себѣ цилиндрическій сосудъ A (фиг. 3), закрытый подвижнымъ поршнемъ B; въ сосудъ нальемъ воды f, надъ которою образуется насыщенный паръ d. Если мы приподнимемъ поршень, то новая часть жидкости испарится; если же поршень опустить, часть пара осядетъ; паръ, находящійся надъ жидкостью, обладаетъ всегда (при постоянной температурѣ) опредѣленною упругостью и производитъ такое же давленіе на стѣнки сосуда. Если же въ цилиндрѣ паръ насыщенный, то при подъемѣ поршня онъ расширяется и его упругость уменьшается, а при опусканіи поршня паръ сжимается и давленіе его увеличивается. Если подъ нагруженнымъ поршнемъ имѣется сухой паръ (безъ жидкости), то поршень перемѣщается до тѣхъ поръ, пока упругость пара не сравняется съ давленіемъ поршня.



фиг. 3.

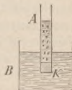


фиг. 4.

Возьмемъ опять цилиндрическій сосудъ A (фиг. 4) съ полупроницаемымъ поршнемъ B, подъ которымъ помѣщается растворъ l съ кусками соотвѣтственной соли и надъ которымъ налита вода w; при этихъ условіяхъ растворъ насыщенъ и его

осмотическое давленіе равно упругости растворенія соли. Если мы приподнимемъ поршень, объемъ раствора увеличится, вода изъ верхней части сосуда проникнетъ чрезъ поршень, его осмотическое давленіе уменьшится, и новая часть соли растворится; если же мы опустимъ поршень, растворъ сожмется, его осмотическое давленіе увеличится и часть растворенной соли выкристаллизовывается. Если же въ цилиндрѣ растворъ ненасыщенный, то при подъемѣ поршня онъ расширяется и его осмотическое давленіе уменьшается, а при опусканіи поршня растворъ сжимается и его осмотическое давленіе увеличивается. Если растворъ (безъ кусковъ соли) находится подъ нагруженнымъ поршнемъ, то послѣдній перемѣщается до тѣхъ поръ, пока осмотическое давленіе раствора не сравняется съ давленіемъ поршня.

Первый опытъ съ осмотическимъ давленіемъ можно сдѣлать еще въ другомъ видѣ. Возьмемъ трубку A (фиг. 5), закрытую снизу полупроницаемою пробкою K и наполненную растворомъ; держа трубку вертикально, опустимъ ее въ сосудъ B съ водою. Растворъ производитъ осмотическое давленіе какъ на дно трубки, такъ и на свою свободную поверхность; но дно трубки твердое и не прогибается; давленіе же на свободную поверхность стремится растянуть столбъ раствора; если это давленіе достаточно велико, то оно приподнимаетъ весь столбъ раствора и внизу трубки образуется пустота, которая наполняется водою изъ сосуда B. Разсматриваемое явленіе совершенно подобно поднятію воды въ насосѣ: здѣсь вода поднимается потому, что надъ нею разрѣжается воздухъ и уменьшается внѣшнее давленіе атмосферы на ея свободную поверхность; тамъ это давленіе преодолѣвается вслѣдствіе того, что растворенныя частицы изнутри ударяютъ въ свободную поверхность столба.



Фиг. 5.

Описаннымъ опытомъ съ поднятіемъ раствора въ трубкѣ можно воспользоваться для измѣренія осмотическаго давленія. Растворъ поднимается въ трубкѣ, пока сила, съ которою онъ давитъ изнутри на свободную поверхность, не сравняется съ вѣсомъ поднимаемаго столба, т. е. пока осмотическое давленіе раствора не сравняется съ гидростатическимъ давленіемъ поднятаго столба. Такое равенство всегда наступитъ, ибо по мѣрѣ под-

нятія раствора въ трубкѣ его осмотическое давленіе уменьшается, а его гидростатическое давленіе увеличивается.

4. Пфеферъ сдѣлалъ рядъ измѣреній осмотическихъ давленій раствора сахара различныхъ концентрацій C (разсчитанныхъ на единицу объема); заставляя эти растворы занимать одинъ и тотъ же объемъ, онъ опредѣлялъ ихъ осмотическое давленіе P, при чемъ температура поддерживалась постоянною; вотъ полученныя имъ числа:

$C =$	1	2	4	6
$P =$	53·5	101·6	208·2	307·5
$P/C =$	53·5	50·8	52·0	51·3

Затѣмъ опредѣлялось осмотическое давленіе одного и того же раствора, занимающаго одинъ и тотъ же объемъ, но нагрѣваемаго до различныхъ температуръ T (въ абсолютной шкалѣ); получились слѣдующія числа:

$T =$	287°	288·5	305	309
$P =$	51	52·1	54·4	56·9
$P/T =$	0·1777	0·1805	0·1783	0·1835

Принимая, что P/C и P/T постоянны, фантъ-Гоффъ пришелъ къ заключенію—на основаніи перваго ряда опытовъ, что осмотическое давленіе раствора пропорціонально его концентраціи, а на основаніи второго, что оно пропорціонально его абсолютной температурѣ; вслѣдствіе этого можно написать

(1) $$P = ACT$$

или, такъ какъ $C = m/V$, гдѣ m масса растворённаго вещества и V занимаемый имъ объемъ (т. е. объемъ раствора),

(1a) $$\frac{PV}{Tm} = A,$$

гдѣ A постоянное. Эта формула тождественна съ тою, которая выводится для газовъ, а потому фантъ-Гоффъ заключаетъ, что между растворами и газами существуетъ полная аналогія: растворы, какъ и газы, подчиняются законамъ Бойля и Гэ-Люссака, а слѣд. и закону Авогадро. Эти законы въ примѣненіи къ данному случаю можно формулировать такъ:

1) Законъ Бойля: *осмотическое давленіе раствора пропорціонально его концентраціи.*

2) Законъ Гэ-Люссака: *осмотическое давленіе раствора пропорціонально его абсолютной температурѣ.*

3) Законъ Авогадро: *если въ равныхъ объемахъ растворены одинокія числа граммо-молекулъ, то осмотическія давленія такихъ растворовъ одинаковы, какія бы вещества ни были растворены.*

Къ этимъ законамъ, общимъ какъ газамъ, такъ растворамъ, слѣдуетъ прибавить специально относящійся къ растворамъ

4) Законъ Фантъ-Гоффа: *осмотическое давленіе не зависитъ отъ растворителя* [1]).

Опредѣлимъ наконецъ числовое значеніе постоянной растворовъ A (форм. 1 или 1a). Въ одномъ изъ своихъ опытовъ Пфеферъ нашелъ, что однопроцентный растворъ сахара при 0° Ц. имѣетъ осмотическое давленіе 49·3 cm. или 49·3/76 atm.; объемъ такого раствора, содержащій граммо-молекулу сахара, т. е. 342 gr. (= K) сахара, будетъ 34·2 литра; слѣд., полагая въ предыдущей формулѣ $P = 49{\cdot}3/76$, $V = 34{\cdot}2$, $T = 273$ и $m = K$, находимъ $A = 0{\cdot}081/K$; подставляя это значеніе A въ (1a), имѣемъ

$$PV = 0{\cdot}081 \frac{mT}{K} \text{ atm.} \times \text{litre}. \qquad (1b)$$

Эта постоянная растворовъ, какъ и слѣдовало ожидать, равна постоянной газовъ [2]).

Какъ къ газамъ формула Бойля примѣняется только въ томъ случаѣ, когда они значительно разрѣжены, такъ и къ растворамъ она примѣнима только въ томъ случаѣ, когда они сильно разжижены.

5. Замерзаніе и кипѣніе растворовъ представляетъ интересныя особенности, которыя мы теперь и изучимъ.

Во-первыхъ при этихъ процессахъ измѣняетъ свое состояніе (переходитъ въ паръ или въ ледъ) только растворитель; такъ при замерзаніи воднаго раствора получается чистый ледъ, а при испареніи раствора получается чистый водяной паръ. На

[1]) Такой законъ былъ бы излишнимъ для газовъ, ибо для нихъ растворителемъ служитъ всегда одинъ и тотъ же эѳиръ.

[2]) Одинъ литръ водорода имѣетъ массу 0·0896 gr.; слѣд. одна граммо-молекула (т. е. 2 gr.) водорода занимаетъ объемъ $2/0{\cdot}0896 = 22{\cdot}38$ литровъ; полагая $P = 1$ atm., $V = 22{\cdot}38$, $T = 273^0$ и $m = K$, находимъ $A = 22{\cdot}38/273\ K = 0{\cdot}082/K$. Если же PV вычислять въ эргахъ, то $A = 8{\cdot}36.10^7/K$. Если наконецъ PV вычислять въ gr-cal., то $A = 2/K$.

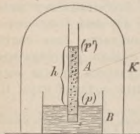
этомъ основаны пріемы очищенія жидкостей—перегонка и кристаллизованіе.

Во-вторыхъ при одинакихъ температурахъ упругость пара надъ растворомъ всегда меньше упругости пара надъ чистымъ растворителемъ. Отсюда слѣдуетъ, что *растворъ кипитъ при болѣе высокой, а замерзаетъ при болѣе низкой температурѣ, чѣмъ растворитель*. При температурѣ кипѣнія растворителя паръ раствора не достигаетъ упругости находящагося надъ нимъ воздуха; для кипѣнія растворъ долженъ нагрѣться до болѣе высокой температуры. Съ другой стороны растворъ начинаетъ замерзать, когда упругость его паровъ сравняется съ упругостью паровъ отвердѣвшаго растворителя; но это бываетъ при температурѣ болѣе низкой, чѣмъ температура замерзанія чистаго растворителя.

Вообще растворъ упорнѣе сохраняетъ свое состояніе, чѣмъ чистый растворитель; въ общихъ чертахъ это и понятно: какъ газъ противится своему сжатію и увеличенію своей упругости, такъ и растворъ противится увеличенію своего осмотическаго давленія, неизбѣжному съ убылью растворителя, вслѣдствіе-ли его замерзанія или вслѣдствіе его испаренія, а потому задерживаются какъ замерзаніе, такъ и кипѣніе раствора.

6. Обратимся теперь къ выводу законовъ, опредѣляющихъ эти явленія.

Представимъ себѣ трубку A (фиг. 6), сверху открытую, а снизу закрытую полупроницаемою пробкою; пусть въ трубку налитъ растворъ съ n gr-mol. растворенпаго вещества и N gr-mol. растворителя; нижній конецъ трубки опущенъ въ сосудъ B съ растворителемъ; вслѣдствіе своего осмотическаго давленія растворъ поднимается въ трубкѣ на высоту h. Весь приборъ помѣщенъ подъ колоколомъ K, изъ котораго удаленъ воздухъ и который наполненъ насыщеннымъ паромъ растворителя. Назовемъ чрезъ p давленіе на свободную поверхность жидкости въ B (упругость насыщеннаго пара растворителя) и чрезъ p'—давленіе пара на свободную поверхность жидкости въ трубкѣ A (упругость насыщеннаго пара раствора). Для равновѣсія нашей системы необходимо, чтобы нигдѣ не было центра наи-



Фиг. 6.

меньшаго давленія, для чего достаточно, чтобы p' было меньше p на гидростатическое давленіе столба пара высотою h:

$$p - p' = \delta h, \tag{2}$$

гдѣ δ плотность нашего пара. Отыщемъ теперь значенія h и δ.

Осмотическое давленіе раствора можно представить такъ (по ур. 1b):

$$P = 0{\cdot}081 \frac{mT}{KV}, \tag{3}$$

гдѣ m есть масса растворенпаго вещества и K его молекулярный вѣсъ; такъ какъ $m/K = n$, то

$$P = 0{\cdot}081 \frac{nT}{V};$$

если чрезъ K' и ∂ обозначимъ молекулярный вѣсъ и плотность растворителя, то масса его будетъ NK', а объемъ раствора $V = NK'/\partial$ (приблизительно); поэтому можно написать

$$P = 0{\cdot}081 \frac{n\partial T}{NK'}. \tag{3a}$$

Вычислимъ еще гидростатическое давленіе P' столба жидкости въ трубкѣ A; такъ какъ жидкость имѣетъ плотность ∂ и ея столбъ —высоту h, то

$$P' = h\partial.$$

Но сейчасъ было сказано, что $P = P'$; слѣд. $0{\cdot}081 n\partial T/NK' = h\partial$, откуда

$$h = 0{\cdot}081 \frac{nT}{NK'}. \tag{4}$$

Съ другой стороны, примѣняя (3) къ пару растворителя, молекулярный вѣсъ котораго K' и плотность δ $(= m/V)$, имѣемъ

$$p = 0{\cdot}081 \frac{T\delta}{K'},$$

откуда

$$\delta = \frac{pK'}{0{\cdot}081 . T}. \tag{5}$$

Подставляя изъ (4) и (5) значенія h и δ во (2), находимъ

$$\frac{p-p'}{p}=\frac{n}{N}, \tag{6}$$

гдѣ дробь $(p-p')/p$ называется *относительнымъ пониженіемъ упругости пара.* Полученная формула выражаетъ первый законъ Рауля, который можно формулировать такъ: *относительное пониженіе упругости пара надъ растворомъ пропорціонально его молекулярной концентраціи.*

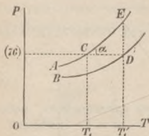
Многочисленные опыты вполнѣ подтверждаютъ этотъ законъ; приведемъ результаты двухъ опытовъ; въ одномъ изъ нихъ брали растворъ 13·8 gr. салициловой кислоты въ 100 gr. эфира, а въ другомъ 27·6 gr. той же кислоты на 100 gr. эфира (при 19° Ц.)

p	p'	$(p-p')/p$	n/N
420	388	0·0762	0·0737
420	355	0·1547	0·1474

Такъ какъ въ форм. (6) не входитъ ничего, зависящаго отъ природы растворенннаго вещества, то можно сказать, что если равно-эквивалентныя количества различныхъ веществъ растворять въ равныхъ объемахъ данной жидкости, то упругости паровъ надъ ними будутъ одинаковы уменьшены.

7. Опредѣлимъ теперь температуру кипѣнія раствора въ зависимости отъ температуры кипѣнія растворителя.

Возьмемъ оси координатъ и на горизонтальной оси будемъ откладывать абсолютныя температуры, а на вертикальной—упругости. Пусть A (фиг. 7) представляетъ кривую водяного пара вблизи температуры кипѣнія (T_1), а B—кривую пара раствора. Проведемъ горизонтальную прямую, соотвѣтствующую атмосферному давленію; точки C и D, въ которыхъ она пересѣкаетъ наши кривыя, опредѣляютъ (своими абсциссами) температуры кипѣнія воды (T_1) и раствора (T'_1). Изъ $\triangle\, CDE$ видно, что



фиг. 7.

$$ED = CD\,\mathrm{tg}\,\alpha;$$

но $ED = p-p' = \Delta p$, $CD = T'_1 - T_1 = \Delta T_1$ и $\mathrm{tg}\,\alpha = \Delta p/\Delta T_1$; слѣд.

$$p-p'=\frac{\Delta p}{\Delta T_1}\,\Delta T_1. \tag{7}$$

Въ термодинамикѣ $\Delta p/\Delta T$ опредѣляется слѣдующею формулою Клапейрона:

$$\frac{\Delta p}{\Delta T_1} = \frac{\lambda}{V-v}\,\frac{1}{T_1},$$

гдѣ T_1 абсолютная температура, которой соотвѣтствуетъ упругость насыщеннаго пара p, λ — теплота испаренія одной граммомолекулы растворителя, V и v объемы такого же количества растворителя въ газообразномъ и жидкомъ состояніи; v очень мало сравнительно съ V, и потому имъ можно пренебречь. Такъ какъ между p и V существуетъ еще связь (при $m = K$)

$$pV = 2T_1 \text{ gr-cal},$$

то, опредѣляя отсюда V и подставляя въ предыдущую формулу, имѣемъ

$$\frac{\Delta p}{\Delta T_1} = \frac{\lambda p}{2\,T_1^2};$$

наконецъ это значеніе $\Delta p/\Delta T_1$ подставимъ въ (7):

$$\Delta T_1 = \frac{p-p'}{p}\,\frac{2T_1^2}{\lambda} \tag{8}$$

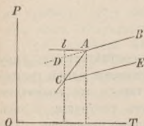
или по (6)

$$\Delta T_1 = \frac{2n}{\lambda N}\,T_1^2. \tag{8a}$$

Эта формула выражаетъ второй законъ Рауля: *температура кипѣнія жидкости повышается на число градусовъ пропорціональное числу растворенныхъ въ ней частицъ (n), независимо отъ ихъ природы.*

8. Подобнымъ же образомъ можно найти и температуру замерзанія раствора. Возьмемъ опять оси температуръ и давленій. Пусть точка A (фиг. 8) представляетъ воду при 0°Ц. (абсолютное значеніе которой обозначимъ T_2) и 76 cm., когда она замерзаетъ; кривая BA — линію упругости соотвѣтствующаго пара надъ водою (продолженіе AD этой кривой соотвѣтствуетъ переохлажденной водѣ); надъ льдомъ упругость пара меньше; ему соотвѣтствуетъ кривая AC; обѣ линіи DA и CA сходятся

въ точкѣ A. Пусть наконецъ упругость пара надъ растворомъ представляется линіею EC. Такъ какъ упругость пара раствора должна равняться упругости пара льда, получаемаго изъ этого раствора, то для температуры T_2' эта кривая должна пройти чрезъ точку C. Проведемъ вертикальныя прямыя чрезъ A и C и горизонтальную чрезъ A; тогда изъ чертежа видно, что



фиг. 8.

$$Cl = Al \operatorname{tg}(CAl), \; Dl = Al \operatorname{tg}(DAl).$$

Для даннаго случая формула Клапейрона принимаетъ видъ $\operatorname{tg}(CAl) = \Delta p/\Delta T_2 = (\lambda + \varsigma)\, p/2T_2$ и $\operatorname{tg}(DAl) = \Delta p'/\Delta T_2 = \lambda p'/2T_2^2$, гдѣ $\lambda + \varsigma$ есть теплота испаренія льда, т. е. сумма теплотъ таянія льда и испаренія воды при температурѣ T_2. Обозначая чрезъ p и p' упругости паровъ воды и льда для той же температуры, мы имѣемъ

$$DC = p - p' = \left(\frac{\lambda+\varsigma}{2T_2^2}\, p - \frac{\lambda}{2T_2^2}\, p'\right)\Delta T.$$

Такъ какъ p и p' очень близки между собою, то мы не сдѣлаемъ большой ошибки, замѣнивъ во второй части p' чрезъ p:

$$p - p' = \frac{\varsigma p}{2T_2^2}\,\Delta T_2;$$

откуда

(9) $$\Delta T_2 = \frac{p-p'}{p}\,\frac{2T_2^2}{\varsigma}$$

или по (6)

(9a) $$\Delta T_2 = \frac{2n}{N\varsigma}\, T_2^2.$$

Эта формула выражаетъ третій законъ Рауля: *температура замерзанія жидкости понижается на число градусовъ пропорціональное числу растворенныхъ въ ней частицъ (n), независимо отъ ихъ природы.*

9. Пріемы прямого измѣренія осмотическаго давленія до сихъ поръ мало разработаны, и потому крайне затруднительны; остается пользоваться косвенными пріемами, которые можно установить на основаніи законовъ Рауля. Сравнивая форм. (3a) съ (6), (8a) и (9a), мы находимъ

$$P = 0{\cdot}081 \frac{\partial}{K} \frac{p-p'}{p} T, \tag{10}$$

$$P = 0{\cdot}081 \frac{\lambda \partial}{2K'T_1} \Delta T_1, \tag{10a}$$

$$P = 0{\cdot}081 \frac{\varsigma \partial}{2K'T_2} \Delta T_2. \tag{10b}$$

Эти формулы выражаютъ осмотическое давленіе чрезъ легко доступныя измѣренію величины: чрезъ уменьшеніе упругости пара, чрезъ повышеніе температуры кипѣнія или чрезъ пониженіе температуры замерзанія растворителя при растворенiи въ немъ даннаго вещества. Этими формулами всегда и пользуются для оцѣнки осмотическаго давленія растворовъ.

Современное состояніе ученія объ электролизѣ

А. П. Соколова[1]).

Теперь мы переходимъ къ теоретической части нашего обзора.

Сопоставимъ прежде всего тѣ требованія, которымъ должна удовлетворять всякая теорія электролиза, разсчитывающая на свое признаніе въ наукѣ. Эти требованія слѣдующія:

1. Неограниченная примѣнимость закона Фарадея къ явленіямъ электролиза, возможная только при допущеніи полной свободы движенія электричествъ внутри электролита и притомъ не иначе, какъ въ связи съ несущими ихъ іонами.

2. Соблюденіе закона независимаго странствованія іоновъ для слабыхъ растворовъ и возростанія молекулярной электропроводности всякаго электролита съ его разведеніемъ.

3. Объясненіе того факта, что при обыкновенной температурѣ всѣ электролиты въ чистомъ видѣ неспособны проводить электричество и пріобрѣтаютъ эту способность только послѣ растворенія ихъ въ извѣстныхъ жидкостяхъ.

---

[1]) Окончаніе; см. стр. 176.

4. Наконецъ объясненіе явленій поляризаціи электродовъ и возможности постояннаго разложенія электролита, лишь начиная съ извѣстной электродвижущей силы, обусловливаемой его химическою природой и условіями опыта. Во многихъ случаяхъ мѣрою этой предѣльной электродвижущей силы разложенія является теплота образованія электролита изъ продуктовъ разложенія.

Если мы обратимся теперь къ дѣйствительнымъ теоріямъ электролиза, предложеннымъ различными учеными, то легко убѣдимся, что ни одна изъ нихъ, взятая въ отдѣльности, не удовлетворяетъ всѣмъ вышеизложеннымъ требованіямъ. Старѣйшая изъ нихъ, теорія Гроттгуса, какъ основанная на представленіи о цѣльности молекулы электролита, части которой могутъ сдѣлаться свободными лишь подъ дѣйствіемъ опредѣленной электродвижущей силы, должна быть безповоротно отброшена, ибо стоитъ въ противорѣчіи съ закономъ Фарадея. Той же участи должна, очевидно, подвергнуться и всякая другая теорія, не допускающая независимаго существованія въ растворахъ хотя нѣкоторой части молекулъ электролита въ свободномъ состояніи, т. е. диссоціированныхъ на свои іоны. Теорія Клаузіуса представляетъ собою первую попытку освободиться отъ представленія о цѣльности химической молекулы и дать объясненіе возможности существованія въ растворѣ свободныхъ іоновъ на основаніи кинетической теоріи аггрегатныхъ состояній.

Но, согласуясь съ законами Фарадея и Ома, теорія Клаузіуса не отвѣчаетъ всѣмъ остальнымъ выше поставленнымъ требованіямъ: она или оставляетъ ихъ незатронутыми, или прямо противорѣчитъ имъ; въ этой теоріи не дается объясненія ни явленіямъ поляризаціи, ни наступленію электролиза при опредѣленной электродвижущей силѣ. Законъ независимаго странствованія іоновъ въ ней соблюденъ, но остается непонятнымъ возростаніе молекулярной электропроводности съ разжиженіемъ раствора: это послѣднее скорѣе должно производить на нее обратное дѣйствіе, такъ какъ уменьшаетъ вѣроятность столкновенія молекулъ между собою. Остается также совсѣмъ непонятнымъ, почему жидкіе электролиты въ чистомъ видѣ являются изоляторами и дѣлаются проводниками лишь въ растворѣ.

Наконецъ можно указать и еще на одно противорѣчіе теоріи Клаузіуса съ фактами: съ его точки зрѣнія число свободныхъ іоновъ будетъ, очевидно, тѣмъ больше, чѣмъ слабѣе силы хи-

мическаго сродства, связывающія части цѣльныхъ молекулъ; въ такомъ случаѣ наибольшею электропроводностію должны обладать растворы нестойкихъ химическихъ соединеній, что прямо противорѣчитъ свидѣтельству опыта.

Обратимся теперь къ теоріи Гельмгольца, съ которою онъ выступилъ въ 1880 г. Надо замѣтить, что Гельмгольцъ имѣлъ главнымъ образомъ въ виду согласовать между собою два повидимому непримиримыхъ требованія: съ одной стороны необходимость признанія свободныхъ іоновъ въ растворѣ, требуемаго закономъ Фарадея, а съ другой необходимость затраты извѣстной работы для того, чтобы эти іоны выдѣлились на электродахъ, какъ мы ихъ наблюдаемъ во время электролиза. И надо признать, что только мощный геній Гельмгольца могъ найти удовлетворительное рѣшеніе этого самаго труднаго вопроса всего электролиза; на него онъ направилъ всѣ свои силы, оставивъ второстепенные вопросы незатронутыми, и въ этомъ надо искать причину того, что его теорія въ другихъ частяхъ оказалась несогласованною съ фактами. Вотъ какъ Гельмгольцъ рѣшилъ эту задачу; изъ закона Фарадея онъ заключаетъ, что въ электролитахъ *всѣ іоны* должны быть свободны и между ними не должно существовать никакихъ иныхъ силъ химическаго или физическаго свойства, кромѣ силъ, обусловленныхъ притяженіемъ и отталкиваніемъ ихъ зарядовъ. Но въ такомъ случаѣ электролитъ долженъ представлять изъ себя однородную смѣсь одинаковаго количества катіоновъ и аніоновъ, которая подъ дѣйствіемъ названныхъ электрическихъ силъ сама собою придетъ непремѣнно въ такое состояніе, что во всякомъ произвольно маломъ объемѣ будетъ всегда заключаться одинаковое количество обоихъ іоновъ. Всякая внѣшняя электродвижущая сила вызываетъ въ такой системѣ совершенно такія же передвиженія электричествъ, какъ и въ металлическомъ проводникѣ; разница будетъ только въ томъ, что въ электролитѣ эти движенія электричествъ будутъ происходить совмѣстно съ движеніемъ іоновъ. Но, будучи свободны въ своихъ движеніяхъ, іоны съ извѣстною силою удерживаютъ на себѣ свои заряды, такъ что требуется затрата нѣкоторой работы, чтобы отнять у нихъ эти заряды и привести ихъ въ нейтральное состояніе; въ такомъ состояніи іоны являются намъ во время разложенія электролитовъ токомъ. Отсюда Гельмгольцъ заключаетъ, что процессъ разложенія есть не что иное, какъ приведеніе іоновъ въ

электрически-нейтральное состояніе. На произведеніе этого разложенія и требуется затрата той работы, мѣра которой есть теплота образованія электролита изъ его составныхъ частей— іоновъ. Мы можемъ наглядно представлять себѣ эту связь іоновъ съ ихъ зарядами, если вмѣстѣ съ Нернстомъ будемъ глядѣть на ихъ положительные и отрицательные заряды, какъ на атомы нѣкоторой первичной матеріи, такъ называемые электроны. Нейтральные іоны входятъ въ химическое соединеніе съ положительнымъ или отрицательнымъ электрономъ и образуютъ заряженные іоны электролитовъ. Процессъ электролиза состоитъ, слѣдовательно, въ разложеніи этихъ соединеній обыкновенной матеріи съ электронами. Это атомистическое представленіе объ электричествѣ, впервые высказанное Гельмгольцемъ въ 1881 г., находитъ себѣ въ настоящее время сильную поддержку со стороны явленій, наблюдаемыхъ въ катодныхъ лучахъ; и тамъ приходится принимать самостоятельное существованіе атомовъ электричества или электроновъ, по величинѣ своихъ зарядовъ тождественныхъ съ зарядами химическихъ іоновъ.

Теорія Гельмгольца представляетъ несомнѣнныя преимущества передъ выше разсмотрѣнными теоріями, ибо даетъ объясненіе самыхъ трудныхъ явленій электролиза, но, какъ я уже сказалъ, творецъ ея не обратилъ вниманія на второстепенные факты, и потому въ своемъ первоначальномъ видѣ она является мало жизнеспособною. Однако достаточно было внести въ нее лишь незначительныя измѣненія, чтобы сообщить ей эту жизнеспособность и сдѣлать годною не только для объясненія этихъ фактовъ, но также для открытія новыхъ и ихъ соотношеній съ другими свойствами растворовъ. Этимъ преобразователемъ идей Гельмгольца явился молодой шведскій ученый Арреніусъ, выступившій съ своею теоріей электролитической диссоціаціи въ 1887 году. Впрочемъ надо замѣтить, что въ ней онъ совсѣмъ не упоминаетъ имени Гельмгольца, съ работами котораго онъ, повидимому, тогда совсѣмъ не былъ знакомъ; онъ выдаетъ себя за послѣдователя идей Клаузіуса, хотя нетрудно видѣть, что по существу его теорія есть простое видоизмѣненіе теоріи Гельмгольца, а не Клаузіуса: стоитъ только въ первой принять, что не всѣ молекулы электролита диссоціированы, а только часть, стоящая въ зависимости отъ концентраціи раствора, и мы получимъ теорію Арреніуса. Этотъ послѣдній совсѣмъ не останавливался на объ-

ясненіе явленій поляризаціи и разложенія электролита, а между тѣмъ, если бы онъ пожелалъ и эти явленія ввести въ кругъ своей теоріи, то необходимо долженъ былъ бы встать относительно ихъ на точку зрѣнія Гельмгольца, какъ единственно возможную. Потому я считаю болѣе справедливымъ новую теорію электролитической диссоціаціи, нынѣ установившуюся въ наукѣ, связывать съ именами Гельмгольца и Арреніуса, а не Клаузіуса и Арреніуса, какъ это дѣлаютъ до сихъ поръ нѣмецкіе и другіе физико-химики.

Мы не знаемъ тѣхъ причинъ, которыя заставляютъ электролиты диссоціироваться въ растворахъ; намъ извѣстно только, что различные растворители дѣйствуютъ въ этомъ отношеніи весьма различно и что водѣ здѣсь принадлежитъ первенствующая роль. Эту способность растворителей диссоціировать молекулы электролитовъ Нернстъ приводитъ въ связь съ ихъ діэлектрическою постоянной: чѣмъ эта послѣдняя больше, тѣмъ больше и сказанная способность. Вода—сильнѣйшій растворитель—имѣетъ самую большую діэлектрическую постоянную—около 80; далѣе слѣдуютъ муравьиная кислота, алкоголь, эфиръ и наконецъ бензолъ, для котораго она имѣетъ наименьшую величину—2·3. Въ томъ же порядкѣ слѣдуютъ и диссоціирующія способности этихъ жидкостей. По мнѣнію Нернста эта связь обусловливается тѣмъ, что, какъ извѣстно, силы взаимнаго притяженія двухъ заряженныхъ тѣлъ, зависятъ отъ діэлектрической постоянной той среды, въ которую они погружены: чѣмъ она больше, тѣмъ эти силы меньше. Поэтому въ водѣ электрическія силы, сдерживающія іоны, будутъ гораздо слабѣе, чѣмъ въ бензолѣ, и всякія причины, стремящіяся произвести ихъ разложеніе, вызовутъ большій эффектъ въ водѣ, а не въ бензолѣ.

Я не буду утруждать вашего вниманія описаніемъ возникновенія и постепеннаго развитія у Арреніуса идей объ электролитической диссоціаціи, не стану также говорить объ опытной провѣркѣ его теоріи и различныхъ ея слѣдствій, выведенныхъ какъ самимъ Арреніусомъ, такъ и его послѣдователями—Фантъ-Гоффомъ, Оствальдомъ и другими. Всѣ эти факты совершились передъ нашими глазами и безъ сомнѣнія хорошо знакомы большинству изъ здѣсь присутствующихъ. Я позволю себѣ только высказать здѣсь мой личный взглядъ, что главная заслуга Арреніуса передъ наукою заключается не въ той незначительной,

хотя и весьма существенной поправкѣ, которую онъ внесъ въ теорію свободныхъ іоновъ Гельмгольца; эта заслуга скорѣе лежитъ въ той счастливой мысли, какую возъимѣлъ Аррепіусъ, вывести теорію электролитической диссоціаціи изъ тѣснаго круга электрическихъ явленій и, связавъ ее съ теоріею растворовъ Фантъ-Гоффа, приложить къ объясненію другихъ явленій, какъ физическихъ, такъ и химическихъ; такимъ образомъ ему удалось установить тѣсную связь между разрозненными дотолѣ явленіями, и отыскать количественныя соотношенія между величинами, не имѣющими, повидимому, ничего общаго между собою. Въ качествѣ иллюстраціи сейчасъ сказаннаго я позволю себѣ привести здѣсь только нѣсколько наиболѣе яркихъ примѣровъ.

Изъ области физики возьму только одинъ краснорѣчивый фактъ. Уже давно Густ. Видеманъ и др. физики подозрѣвали тѣсную связь между электропроводностью и коэффиціентомъ диффузіи раствореннаго электролита, но установить форму этой связи однимъ экспериментальнымъ путемъ не удалось никому. И вотъ, исходя изъ теоріи Аррепіуса, Нерпстъ въ 1888 г. весьма легко вывелъ простую формулу, которая представляетъ зависимость коэффиціента диффузіи отъ подвижностей обоихъ іоновъ электролита. Такимъ образомъ, благодаря теоріи Аррепіуса, искомая связь была найдена и притомъ чисто теоретическимъ путемъ. Справедливость формулы Нернста была доказана экспериментальнымъ изслѣдованіямъ на многихъ электролитахъ; пользуясь ею, мы можемъ теперь вычислять диффузіонный коэффиціентъ въ слабомъ водномъ растворѣ любаго электролита, для котораго въ таблицахъ Кольрауша имѣются данныя относительно подвижности іоновъ.

Изъ области термохиміи укажу на одинъ уже давно открытый Томсеномъ законъ, остававшійся для насъ до сихъ поръ непонятнымъ. Я говорю о законѣ равенства теплоты нейтрализаціи всѣхъ сильныхъ кислотъ всѣми сильными основаніями. Аррепіусъ первый показалъ, что съ точки зрѣнія его теоріи законъ этотъ является очевиднымъ самъ собою. Дѣйствительно, всѣ сильныя кислоты и основанія уже почти вполнѣ диссоціированы въ растворахъ даже умѣренной концентраціи; таковыми же остаются и соли, получающіяся при нейтрализаціи однѣхъ другими; но въ такомъ случаѣ вся реакція сводится къ соединенію $\overset{+}{H}$ кислоты съ HO основанія въ воду; такъ какъ

реакція во всѣхъ случаяхъ одна и та же, то законъ Томсена вполнѣ понятенъ.

Укажу далѣе на блестящій успѣхъ теоріи Аррениуса въ рѣшеніи вопроса о степени диссоціаціи самой воды на іоны $\overset{+}{H}$ и $\overset{-}{HO}$. Что эта диссоціація весьма мала, можно было видѣть уже изъ того факта, что чистая вода ведетъ себя почти, какъ изоляторъ; но, пользуясь наблюденіями Шильда надъ гидратаціею уксусно-кислаго метила и истолковывая ихъ въ смыслѣ своей теоріи, Аррениусъ легко вычислилъ ея величину; она оказывается равною $1 \cdot 1.10^{-9}$. Это значитъ, что на 1 куб. метръ воды приходится приблизительно 1·1 mgr. диссоціированныхъ ея частицъ. Далѣе въ 1894 г. Кольраушъ въ сообществѣ съ Гейдвейлеромъ занялся полученіемъ возможно чистой воды, и это ему удалось, какъ никогда и никому прежде, при помощи послѣдовательныхъ перегонокъ воды въ пустотѣ. Электропроводность полученной имъ въ концѣ концовъ воды была уменьшена до $0 \cdot 040.10^{-10}$, т. е. въ 25 разъ менѣе противъ самой чистой воды, получаемой простою перегонкою на воздухѣ. Такая вода обладаетъ громаднымъ температурнымъ коэффиціентомъ электропроводности: онъ въ два слишкомъ раза превосходитъ температурный коэффиціентъ солей при наибольшемъ разжиженіи; достаточно сказать, что при нагрѣваніи отъ -3^0 до $+51^0$ вода увеличивала свою электропроводность въ 15 разъ. Уже это обстоятельство указывало на необычайную чистоту полученной воды. Но, желая знать степень этой чистоты и отсюда опредѣлить электропроводность абсолютно чистой воды, Кольраушъ обратился за помощью къ теоріи диссоціаціи, хотя ранѣе того высказывался противъ нея; исходя изъ этой теоріи, Кольраушъ безъ труда рѣшилъ всѣ интересовавшіе его вопросы. Что касается степени диссоціаціи воды, то она оказалась весьма близкою къ той, какая до него вычислена Аррениусомъ. Изъ формулы Кольрауша видно кромѣ того, что эта диссоціація чрезвычайно быстро растетъ съ температурою, такъ что въ промежуткѣ отъ 0^0 до 100^0 она увеличивается уже въ 24 раза. Электропроводность абсолютно чистой воды оказалась всего лишь на 10% менѣе полученной имъ воды, такъ что эти 10% должны быть приписаны примѣсямъ. Отсюда уже нетрудно заключить, что въ этой водѣ, имѣвшей объемъ около 15 ccm., находилось всего нѣсколько стотысячныхъ миллиграмма примѣсей. Такое поразительное согласіе теоріи съ опытомъ, обнаружив-

щееся въ этомъ примѣрѣ, Кольраушъ считаетъ за самое лучшее доказательство справедливости теоріи диссоціаціи, съ чѣмъ, я думаю, согласятся даже многіе изъ ея противниковъ.

Впрочемъ въ пользу этой теоріи мы имѣемъ еще одно блестящее свидѣтельство. Изъ теоріи гальваническаго элемента, построенной Нернстомъ на теоріяхъ диссоціаціи и осмотическаго давленія и о которой мы слышали 23 декабря обстоятельный докладъ проф. П. А. Зилова, явствуетъ, что электродвижущая сила элемента Даніэля обусловливается съ одной стороны упругостями растворенія цинка и мѣди, а съ другой осмотическими давленіями іоновъ этихъ металловъ въ растворахъ цинковаго и мѣднаго купоросовъ; притомъ всякое возростаніе упругости растворенія мѣди или также всякая убыль осмотическаго давленія ея іоновъ въ растворѣ должно сопровождаться уменьшеніемъ электродвижущей силы нашего элемента; отсюда слѣдуетъ, что если теорія вѣрна, то, окруживъ цинкъ насыщеннымъ растворомъ его купороса, мы можемъ чрезъ разжиженіе раствора мѣднаго купороса какъ угодно уменьшать электродвижущую силу элемента, сдѣлать ее нулемъ и даже совсѣмъ обратить ея знакъ, такъ что во внѣшней цѣпи токъ пойдетъ отъ цинка къ мѣди. Однако въ дѣйствительности ничего подобнаго не наблюдается, и, если даже окружить мѣдь чистою водою, мы все-таки будемъ имѣть обыкновенный элементъ Даніэля съ нѣсколько пониженною электро-движущею силою.

Казалось бы здѣсь мы встрѣчаемся съ прямымъ противорѣчіемъ опыта теоріи Нернста. На самомъ же дѣлѣ никакого противорѣчія нѣтъ. Дѣло въ томъ, что, благодаря упругости растворенія, присущей мѣди, уже въ моментъ погруженія послѣдней въ воду она выпускаетъ такое количество свободныхъ іоновъ, которое вполнѣ достаточно, чтобы элементъ являлся намъ съ своими обычными свойствами. Но мы можемъ достичь нашей цѣли инымъ способомъ, пользуясь свойствами двойныхъ солей; къ раствору мѣднаго купороса, окружающему мѣдь, будемъ приливать небольшими порціями растворъ синеродистаго калія; этотъ послѣдній образуетъ съ мѣдью двойную синеродистую соль мѣди и калія, іонами которой будутъ $\overset{+}{K}$ и $Cu(CN)_2$; такъ какъ теперь іоны мѣди входятъ въ составъ новаго іона $Cu(CN)_2$, то они перестаютъ быть свободными, и потому концентрація послѣднихъ будетъ все болѣе и болѣе уменьшаться, по мѣрѣ под-

ливанія новыхъ порцій ціанкалія; такимъ образомъ мы могли бы уничтожить всѣ свободные іоны мѣди въ элементѣ Даніэля и сдѣлать электродвижущую силу его отрицательною и при томъ какъ угодно большою. Опытъ дѣйствительно подтверждаетъ это заключеніе теоріи, и если при этомъ отрицательная электродвижущая сила элемента не можетъ быть сдѣлана произвольно большою, то это происходитъ во-первыхъ отъ поступленія въ растворъ новыхъ іоновъ мѣди изъ растворяющейся мѣди, а во-вторыхъ вслѣдствіе того, что нѣкоторая, хотя и очень небольшая, часть іоновъ $Cu(CN)_2$ остается диссоціированною на Cu и CN.

Вышеприведенные примѣры достаточно ясно иллюстрируютъ многочисленныя заслуги, оказанныя теоріею электролитической диссоціаціи ученію о растворахъ, и мы имѣемъ всѣ основанія полагать, что въ своемъ дальнѣйшемъ развитіи эта теорія освѣтитъ еще многія явленія, до сихъ поръ остающіяся намъ непонятными.

Пожелаемъ же новой теоріи дальнѣйшихъ блестящихъ успѣховъ и будемъ надѣяться, что при ея содѣйствіи тѣсныя узы, связующія нынѣ физику и химію, сдѣлаются еще болѣе крѣпкими и болѣе многочисленными.

Изслѣдованія надъ низкими температурами, произведенныя въ Лондонскомъ Королевскомъ Институтѣ

Г-жи Клеркъ [1].

Низкія температуры долгое время составляли принадлежность Королевскаго Института. Возобновляя традиціи Дэви и Фарадея, проф. Дюаръ далъ новое направленіе своимъ работамъ въ этомъ учрежденіи, имѣя въ виду изслѣдовать свойства вещества, подвергнутаго особымъ условіямъ, которыя никогда еще не осуществлялись. Но для этого необходимы были громадныя

[1] Low temperature Research at the Royal Institution of Great Britain by Miss *A. M. Clerke* (Переводъ сдѣланъ съ франц. текста въ Rev. génér. des Sc. 1902).

затраты усилій, времени и денегъ, не говоря уже объ опасностяхъ, сопряженныхъ съ такими насиліями надъ природою. При совокупности всѣхъ этихъ условій нигдѣ не было получено лучшихъ результатовъ, какъ въ лабораторіи Королевскаго Института. Эти результаты обязаны главнымъ образомъ щедрости одного жертвователя [1]), а также и нѣкоторыхъ другихъ: „Общество золотыхъ дѣлъ мастеровъ“ дважды приходило на помощь.

Вотъ въ краткихъ словахъ состояніе вопроса въ моментъ, когда пожертвованіе Годкинса позволило предпринять новыя изслѣдованія.

Всѣ извѣстные газы, за исключеніемъ водорода и фтора, были сжижены при статическихъ условіяхъ; одинъ лишь жидкій кислородъ не удавалось заморозить. Самый сильный холодъ былъ доведенъ до 73° abs. (—200° Ц). Были опредѣлены новыя электрическія и химическія свойства различныхъ тѣлъ, охлажденныхъ до —182° Ц. Въ виду прогрессивнаго уменьшенія сопротивленія чистыхъ металловъ, наблюдаемаго съ пониженіемъ температуры, можно было ожидать, что это сопротивленіе совершенно исчезнетъ вблизи абсолютнаго нуля градуса, тогда какъ для сплавовъ сопротивленіе уменьшалось мало, а сопротивленіе угля измѣнялось въ противоположномъ направленіи. Было найдено, что сопротивленіе желѣза уменьшается въ 23, а мѣди въ 11 разъ, при перемѣнѣ температура съ +108° на —197°; при этой температурѣ желѣзо проводитъ лучше, чѣмъ мѣдь при обыкновенной температурѣ.

10 дек. 1891 г. Дюаръ открылъ, что жидкій кислородъ способенъ намагничиваться. Онъ удостовѣрился, что послѣ своего сжиженія этотъ газъ сохраняетъ многія свои свойства: жидкій кислородъ, какъ и газообразный, плохой проводникъ тепла и электричества, но прозраченъ для инфракрасныхъ лучей; его спектръ поглощенія, повидимому, тотъ же, что и газообразнаго кислорода. Изъ всего этого можно было заключить, что молеку-

[1]) Въ началѣ 1895 г. покойный Годкинсъ (Th. G. Hodgkins) завѣщалъ Королевскому Институту 100000 долларовъ, проценты съ которыхъ должны употребляться на „изслѣдованіе связей и соотношеній, существующихъ между человѣкомъ и его Создателемъ“. Исполняя волю жертвователя, администраторы рѣшили отпустить эти средства на работы въ Институтѣ, ибо онѣ имѣютъ цѣлью достичь истины и потому составляютъ могучее средство „направлять мысль къ самому источнику науки“.

лярное строеніе этого элемента мало зависитъ отъ измѣненія его состоянія.

Практическія трудности, встрѣчавшіяся при сохраненіи и изслѣдованіи холодныхъ жидкостей были въ значительной степени преодолены примѣненіемъ сосудовъ съ двойными стѣнками, изобрѣтенныхъ проф. Дюаромъ; пустота между стѣнками настолько препятствуетъ доступу тепла чрезъ конвекцію или лучами, что въ нихъ испареніе жидкости совершается въ 50 разъ медленнѣе, чѣмъ въ простомъ сосудѣ; потеря жидкости еще болѣе задерживалась, когда внутреннія стороны стѣнокъ посеребрили. Теперь эти жидкости сохраняются въ 30 разъ дольше прежняго.

Итакъ, въ началѣ семилѣтняго періода, исторію котораго мы здѣсь изложимъ, работа была упорная и непрерывная; было открыто и изслѣдовано много новыхъ областей. Оставалась хотя и небольшая, но трудно доступная территорія; а между тѣмъ существовала нѣкоторая надежда сю завладѣть, улучшивъ методы и воспользовавшись пріобрѣтеннымъ опытомъ.

I. Сжиженіе водорода.

Наиболѣе важная задача, которую предстояло разрѣшить, было сжиженіе водорода. Этотъ газъ, самый легкій изъ всѣхъ извѣстныхъ тѣлъ, походитъ однако на металлъ: онъ электроположителенъ; онъ хорошо проводитъ теплоту и электричество; съ палладіемъ, натріемъ и каліемъ онъ образуетъ сложныя тѣла, обладающія свойствами металлическихъ сплавовъ. Руководимый этими фактами, Фарадей заявилъ, что твердый водородъ долженъ обладать металлическимъ блескомъ.

Сжиженіе водорода было произведено впервые въ январѣ 1884 г. Врублевскимъ въ Краковѣ. На мгновеніе можно было видѣть туманъ водорода, когда газъ, предварительно охлажденный до температуры кипѣнія азота въ пустотѣ, вдругъ освобождался отъ давленія въ 180 atm. Это мимолетное явленіе было воспроизведено Ольшевскимъ. Но ни тому, ни другому не удалось получить жидкость въ достаточномъ для опытовъ количествѣ.

Это было достигнуто въ Королевскомъ Институтѣ послѣ длиннаго ряда усилій, часто безплодныхъ, но всегда настойчиво возобновлявшихся. Необходимыя условія были приблизительно извѣстны, такъ какъ критическія постоянныя водорода можно было вычислить по формулѣ Фанъ-деръ Ваальса. Врублевскій оцѣнилъ критическую температуру водорода (это conditio, sine

ціи поп для его сжиженія) въ $-240°$ Ц. и соотвѣтствующее давленіе въ 13 atm., а температуру кипѣнія въ $-250°$ Ц. Проф. Дюаръ сдѣлалъ при этихъ условіяхъ предварительный опытъ, примѣшивая немного воздуха или азота къ водороду, дабы получить газъ, способный сжижаться при охлажденіи жидкимъ воздухомъ. Эта смѣсь газовъ, сильно сжатая при $-200°$ Ц. и затѣмъ расширенная, давала такой холодъ, какой до того никогда еще не производился. Въ результатѣ получился твердый воздухъ, соединенный съ прозрачною жидкостью, малой плотности и слишкомъ летучею, чтобы ее можно было какимъ-нибудь способомъ собрать и сохранить. Это была первая порція жидкаго водорода!

Дюаръ не удовольствовался возможностью взглянуть на жидкій водородъ; онъ хотѣлъ имъ совершенно овладѣть. Помѣщенный подъ давленіемъ внутри стеклянной трубки, этотъ продуктъ былъ еще почти недоступенъ; изучить свойства жидкаго водорода не было возможности, пока не умѣли собирать его при температурѣ кипѣнія въ открытомъ сосудѣ съ пустыми стѣнками. Употребленіе змѣевика-регенератора позволило достигнуть и этого. Еще въ 1857 г. для полученія холода Сименсъ употреблялъ пріемъ, въ которомъ тѣло само себя охлаждало. Позже этотъ способъ примѣнялся для промышленныхъ цѣлей Кольманомъ, Сольвеемъ, Линде и др.; въ то же время Камерлингъ-Оннесъ пользовался имъ въ своей лабораторіи Лейденскаго университета.

Въ то время быстрое сжиженіе постоянныхъ газовъ стало уже обычною операціею, но только Королевскому Институту было обезпечено широкое поле изслѣдованій въ этомъ направленіи.

Въ декабрѣ 1894 г. проф. Дюаръ сдѣлалъ сообщеніе въ Лондонскомъ Химическомъ Обществѣ, въ которомъ онъ описалъ способы полученія и употребленія струи жидкаго водорода. Вслѣдствіе быстраго движенія газа во время его сжиженія и малой плотности образующейся жидкости, попытки собрать послѣднюю остались безуспѣшными. Впрочемъ съ лучшею термическою изолировкою и съ болѣе совершенными сосудами можно было ожидать лучшихъ успѣховъ.

Температуры въ 20 или 30° abs. были уже достижимы примѣненіемъ струи жидкаго водорода, какъ охлаждающаго средства. Одни денежныя затрудненія прегрождали путь; но они не могли совершенно остановить прогресса. Регенераторъ, типа 1895 г., признанный удовлетворительнымъ, былъ значительно увеличенъ

въ размѣрахъ для жидкаго воздуха и снабженъ специальнымъ приспособленіемъ для сжиженія водорода.

Потребовался цѣлый годъ на постройку прибора и нѣсколько мѣсяцевъ на его провѣрку; совершенство прибора вполнѣ обнаружилось, когда 10 мая 1898 г. жидкость капля за каплею начала выливаться. По случайному совпаденію первое публичное демонстрированіе этой, такъ сказать, неестественной жидкости было сдѣлано 7 іюня 1899 г. на лекціи проф. Дюара, читанной на столѣтнемъ юбилеѣ Королевскаго Института. Сферическій сосудъ съ двойными посеребренными стѣнками, наполненный цѣлымъ литромъ жидкаго водорода, былъ выставленъ на лекціонномъ столѣ передъ глазами ученыхъ обоихъ континентовъ. Для предохраненія отъ слишкомъ быстраго испаренія жидкаго водорода сосудъ былъ погруженъ въ жидкій воздухъ. Но когда изъ горлышка сосуда вынимали тампонъ ваты, которымъ онъ былъ закрытъ, тамъ тотчасъ же осѣдалъ воздухъ въ видѣ снѣга; при всѣхъ опытахъ съ жидкимъ водородомъ атмосферный воздухъ, отвердѣвающій и закупоривающій трубки, является большою помѣхою.

Жидкій водородъ не представляетъ сходства съ металлами: онъ не проводитъ электричества и, отвердѣвая, принимаетъ видъ льда, который въ 40 разъ легче воды; будучи совершенно прозраченъ и безцвѣтенъ, онъ не даетъ спектра поглощенія. Удѣльныя теплоты твердаго и жидкаго водородовъ, взятыхъ въ равныхъ объемахъ, почти одинаковы; но при равныхъ массахъ удѣльная теплота перваго въ 12 разъ больше удѣльной теплоты второго; удѣльная теплота твердаго водорода = 6.

II. Термометры для низкихъ температуръ.

Блестящій результатъ, полученный послѣ длиннаго ряда попытокъ, часто неудачныхъ, былъ преддверіемъ новыхъ опытовъ. Въ наукѣ никогда не бываетъ предѣла; истина идетъ все впередъ; своихъ адептовъ она толкаетъ въ области все болѣе и болѣе трудныя и опасныя; это особенно относится къ попыткамъ искуственно производить холодъ. При каждомъ шагѣ впередъ препятствія дѣлаются все непреодолимѣе и условія все болѣе критическими. Уже одно опредѣленіе достигнутыхъ температуръ почти невозможно: обычные способы измѣренія тепла совершенно непримѣнимы въ этихъ исключительныхъ условіяхъ.

Даже выборъ термометра для оцѣнки температуры кипѣнія водорода составилъ большой трудъ.

Приборы, опредѣляющіе измѣненіе температуры при помощи электрическаго сопротивленія, удобнѣе всего примѣнить; но эти термометры устраиваются на основаніи эмпирическаго закона, и трудно было ожидать, чтобы они точно показывали за предѣлами опытной разцѣнки. Далѣе можно было прибѣгнуть къ газовымъ термометрамъ „съ постояннымъ объемомъ", наполненнымъ водородомъ, геліемъ, кислородомъ или углекислотою. Послѣдніе два газа послужили для рѣшенія вопроса, остается-ли сжатіе равномѣрнымъ до температуры кипѣнія термометрическаго вещества. Отвѣтъ получился утвердительный: газъ—простой или сложный — можетъ служить термометрическимъ веществомъ до момента своего сжиженія; показанія термометровъ съ водородомъ и геліемъ заслуживали особаго довѣрія, вслѣдствіе ихъ совершеннаго совпаденія. Такимъ образомъ было найдено, что подъ атмосфернымъ давленіемъ водородъ кипитъ при —252° Ц. и что его критическая температура —241° Ц.

Это новое тѣло интересно не только по своимъ исключительнымъ свойствамъ, но и какъ источникъ самаго сильнаго холода. Пользоваться имъ съ этою цѣлью научились лишь чрезъ нѣсколько мѣсяцевъ тяжелаго труда: съ чрезвычайно холодными тѣлами также трудно обращаться, какъ и съ чрезвычайно горячими. Препятствія, которыя надо было преодолѣть при обращеніи съ жидкимъ воздухомъ, возросли еще болѣе, при переходѣ къ жидкому водороду, который затруднялъ всѣ операціи, замораживая окружающій воздухъ; надо было воспрепятствовать доступу не только тепла, но и повсюду распространеннаго воздуха. Но то, чему мы научились, примѣняя это средство полученія холода, несомнѣнно надо считать величайшимъ трофеемъ, взятымъ у природы.

III. Дѣйствія холода

Исключительно въ области физики изслѣдовано было дѣйствіе этого чрезвычайнаго холода на вещество по отношенію къ свѣту, теплу, электричеству и магнитизму. Въ эту область входятъ вопросы о сцѣпленіи и о сродствѣ, равно какъ о молекулярномъ строеніи и даже о самой сущности вещества. Эти крайнія проблемы привлекаютъ къ себѣ вниманіе „кріогенистовъ", даже наименѣе склонныхъ къ мечтаніямъ; и чѣмъ больше мы

приближаемся къ абсолютному нулю, тѣмъ больше надежды на ихъ разрѣшеніе. Въ теченіе двадцати лѣтъ проф. Дюаръ направляетъ свой путь къ этому „полюсу холода".

Можетъ быть, намъ никогда не достичь этого предѣла, но разстояніе, отдѣляющее насъ отъ него, будетъ доведено до минимума. Завоеванная территорія была тщательно изслѣдована. Одновременно съ непрерывными усиліями сжижить водородъ, настойчиво велись опыты при температурѣ жидкаго воздуха.

Въ 1893 и слѣдующихъ годахъ Дюаръ и Флемингъ стремились получить охлаждающія вещества въ большомъ количествѣ. Металлическія проволоки, подвергаемыя опытамъ, были тщательно приготовлены, и измѣренія дѣлались съ особыми предосторожностями. Было удостовѣрено, что сопротивленіе всѣхъ чистыхъ металловъ уменьшается съ увеличеніемъ холода, но въ то же время было обнаружено много частныхъ фактовъ и аномалій. Такъ разные металлы не всегда сохраняютъ одни и тѣ же мѣста въ ряду сопротивленій: при 73° abs. мѣдь лучшій проводникъ, чѣмъ серебро, желѣзо проводитъ лучше цинка, а алюминій лучше золота. Много труда было положено на обслѣдованіе электрическихъ особенностей висмута; было найдено, что эти аномаліи обусловливаются крайне незначительными примѣсями постороннихъ тѣлъ: всѣ онѣ исчезаютъ въ электролитическомъ висмутѣ. Еще было открыто, что увеличеніе сопротивленія висмута въ магнитномъ полѣ значительно возростаетъ при температурѣ жидкаго воздуха. Стекло, эбонитъ, гутаперча и парафинъ изолируютъ тѣмъ лучше, чѣмъ они холоднѣе.

Когда научились пользоваться жидкимъ водородомъ, открылась возможность двинуть эти изслѣдованія значительно дальше. При этомъ холодѣ сопротивленіе мѣди въ 105 разъ меньше, чѣмъ при 0°, сопротивленіе золота въ 30 разъ, а сопротивленіе желѣза лишь въ 8 разъ меньше. Судя по измѣненіямъ сопротивленій чистыхъ металловъ, которыя наблюдались до $-200°$ Ц., приходилось заключить, что при абсолютномъ нулѣ они перестаютъ разсѣивать энергію проходящаго чрезъ нихъ электрическаго тока; но при $-252°$ Ц. все рѣзко измѣняется: вмѣсто того, чтобы опускаться далѣе по прямому направленію, кривыя сопротивленій приподнимаются, такъ что вблизи абсолютнаго нуля сопротивленіе имѣетъ конечную величину.

При температурахъ выше 0° Ц. термоэлектрическія явленія были предметомъ изслѣдованій проф. Тэта; измѣненія, производи-

мыя холодомъ въ -200° Ц., были установлены Дюаромъ и Флемингомъ въ 1895 г. Кривыя, представляющія зависимость термоэлектрической способности различныхъ металловъ отъ температуры, никогда не обращаются въ прямыя. Кривыя желѣза и висмута представляютъ внезапное измѣненіе направленія, указывающее на обращеніе томсоновскаго эффекта въ этихъ точкахъ. Изгибы другихъ кривыхъ заставляютъ думать, что при нулѣ холода имѣется и нуль термоэлектрической способности. Впрочемъ эти указанія могутъ быть и призрачными; можно думать, что скорость уменьшенія термоэлектрической способности убываетъ гораздо раньше, чѣмъ достигается эта крайняя точка.

Другой рядъ опытовъ служилъ для изученія вліянія холода на развитіе магнитизма. Какъ и слѣдовало ожидать магнитный моментъ возростаетъ пропорціонально охлажденію. Какъ только испытуемое тѣло, послѣ нѣсколькихъ перемагничей, достигаетъ устойчиваго состоянія, величина этого момента увеличивается отъ 30 до 50%, когда температура понижается съ $+75^{\circ}$ Ц. до -182°. Долго и тщательно изучалась магнитная проницаемость желѣза при цѣломъ рядѣ нисходящихъ температуръ; она слегка уменьшается при погруженіи желѣза въ жидкій кислородъ.

Въ 1897 г. были опредѣлены діэлектрическія постоянныя замерзшихъ электролитовъ; оказалось, что при низкихъ температурахъ вещества, какъ ледъ и алкоголь, представляются діэлектрическими, хотя въ жидкомъ состояніи они обладаютъ сравнительно высокою электролитическою проводимостью; ихъ діэлектрическія постоянныя, значительныя вблизи температуры замерзанія, уменьшаются къ -200° Ц.; при абсолютномъ нулѣ діэлектрическія постоянныя всѣхъ этихъ тѣлъ, вѣроятно, одинаковы и равны 2 или 3. Вблизи этой температуры всѣ электролизы пріобрѣтаютъ безконечно-большое сопротивленіе и становятся совершенными изоляторами. Жидкій кислородъ и воздухъ замѣчательно изолируютъ; вслѣдствіе этого ихъ можно было считать діэлектриками. Было желательно опредѣлить ихъ діэлектрическія постоянныя; для нихъ были найдены числа 1·493 и 1·4.5. Магнитныя проницаемости жидкаго и газообразнаго кислородовъ относятся какъ 1594/1 при равныхъ объемахъ и какъ 2/1 при равныхъ массахъ; отсюда можно вывести, что это свойство принадлежитъ не только однѣмъ частицамъ, но зависитъ и отъ состоянія аггрегаціи.

Далеко не проявляя наклонности разсыпаться въ „космическую пыль", матерія увеличиваетъ свое сцѣпленіе по мѣрѣ

пониженія температуры. При -182° Ц. металлическій стержень выноситъ въ 4 или 5 разъ большій грузъ, чѣмъ при 0°, испытывая такое же удлиненіе. Спираль изъ легкоплавкаго металла, которая при обыкновенной температурѣ разрушалась подъ натяженіемъ въ нѣсколько граммовъ, выноситъ болѣе киллограмма и колеблется, какъ стальная пружина, если ее окунуть въ жидкій воздухъ.

Постоянная упругости, извѣстная подъ названіемъ „модуля Юнга", учетверяется или упятеряется, когда переходятъ съ $+15^{\circ}$ къ -182° Ц. Окунутые предварительно въ жидкій воздухъ шары изъ желѣза, олова, свинца или слоновой кости поднимаются гораздо выше послѣ паденія съ опредѣленной высоты на горизонтальную желѣзную доску. Совокупность всѣхъ этихъ опытовъ выясняетъ тотъ фактъ, что сцѣпленіе тѣла увеличивается со сближеніемъ его частицъ.

При сильномъ охлажденіи тѣлъ ихъ оптическія свойства рѣзко измѣняются. Такъ измѣняется цвѣтъ тѣлъ, что указываетъ на измѣненіе ихъ способности поглощать свѣтъ; киноварь и іодная ртуть мѣняютъ ярко-красный цвѣтъ на блѣдно-оранжевый; азотноурановая соль и хлороплатинатъ аммонія бѣлѣютъ; но прежній цвѣтъ всегда возстановляется, какъ скоро тѣло нагрѣвается; синія краски нечувствительны къ холоду; органическія краски мало измѣняются.

Давно извѣстно, что температура играетъ важную роль въ явленіяхъ фосфоресценціи. Поэтому было очень желательно вновь предпринять изслѣдованіе въ тѣхъ условіяхъ, которыя можно было осуществить при помощи газовъ, сжиженныхъ проф. Дюаромъ. Тутъ былъ открытъ цѣлый рядъ въ высшей степени интересныхъ фактовъ. Вообще фосфоресценція тѣлъ сильно возбуждается охлажденіемъ до -182° Ц. Желатина, целлулоидъ, парафинъ, слоновая кость, рогъ—это все вещества, которыя при обыкновенныхъ условіяхъ не обладаютъ этимъ свойствомъ; но охлажденныя жидкимъ кислородомъ и освѣщенныя электрическою лампою, они испускаютъ синеватый свѣтъ. Флуоресцирующіе растворы алколоидовъ всегда становятся фосфоресцирующими при низкихъ температурахъ; глицеринъ, кислоты сѣрная, азотная и соляная ярко свѣтятся; молоко сильно фосфоресцируетъ, а чистая вода слабо; яйцо блеститъ, какъ раскаленное; поразительное явленіе даютъ многія другія органическія тѣла, какъ напр. перья, хлопокъ, черепаха, бумага, кожа, губка и нѣкото-

рые бѣлые цвѣты, но въ особенности яичный бѣлокъ, который, будучи извѣстнымъ образомъ обработанъ, очень ярко свѣтится. Приведенный перечень фосфоресцирующихъ тѣлъ приводитъ къ мысли, что сложность строенія тѣла есть какъ бы главное условіе этой способности; поэтому-то было очень неожиданно встрѣтить ее въ кислородѣ, единственномъ среди простыхъ газовъ.

При температурѣ жидкаго водорода фосфоресценція еще интенсивнѣе; при -250° Ц въ исключительныхъ случаяхъ фосфоресценція можетъ быть вызвана пучкомъ свѣта, лишеннымъ ультрафіолетовыхъ лучей.

Сильно охлажденные кристаллы электризуются и между ихъ частицами происходятъ разряды. Въ нѣкоторыхъ платиново-синеродистыхъ соединеніяхъ и въ азотноурановой соли охлажденіе жидкимъ воздухомъ развиваетъ электрическія и свѣтовыя явленія, усиливающіяся отъ дѣйствія жидкаго водорода.

Химическое сродство почти совершенно уничтожается сильнымъ холодомъ. Фосфоръ, натрій и калій остаются инертными въ жидкомъ кислородѣ и гальваническіе элементы, охлажденные до этой температуры, не даютъ болѣе тока. Впрочемъ фотографическія пластинки сохраняютъ 1/5 своей обычной чувствительности, которая не исчезаетъ вовсе даже въ жидкомъ водородѣ.

Рядъ очень тщательныхъ опытовъ надъ термическою прозрачностью, сдѣланныхъ въ 1897 и 1898 г., совершенно опровергаетъ мнѣніе Пиктe, что при достаточномъ холодѣ непроводящія тѣла перестаютъ изолировать; было наоборотъ доказано, что они сохраняютъ эту способность даже при температурѣ кипѣнія воздуха.

IV. Сжиженіе фтора.

Фторъ былъ сжиженъ однимъ годомъ раньше, чѣмъ водородъ. Уже по характеру соединеній фтора можно было думать, что сжиженіе этого элемента будетъ особенно затруднительно; такъ хлористый этилъ кипитъ при $+12^{\circ}$ Ц., а фтористый этилъ лишь при -32° Ц.; хлористый и фтористый пропилы имѣютъ температуры кипѣнія $+450^{\circ}$ и -2° Ц. Однако упорство фтора сохранять газообразное состояніе не выдержало натиска соединенныхъ силъ. 28 мая 1897 г. Муассанъ демонстрировалъ въ Королевскомъ Институтѣ приборъ для образованія фтора, а на слѣдующій день этотъ генераторъ въ соединеніи съ холодильникомъ Дюара по-

служилъ для полученія первой порціи жидкаго фтора. Это—жидкость свѣтло-желтаго цвѣта, очень подвижная, кипящая при -187° Ц. на открытомъ воздухѣ и не отвердѣвающая даже при -210° Ц.; жидкій фторъ растворяется въ жидкомъ воздухѣ и кислородѣ; его плотность (относительно воды) $= 1{\cdot}14$; его капиллярная постоянная меньше, чѣмъ у жидкаго водорода; въ спектрѣ онъ не даетъ полосъ поглощенія и не намагничивается; въ жидкомъ состояніи фторъ не обладаетъ тѣмъ энергичнымъ сродствомъ, которымъ онъ отличается, будучи газомъ: жидкій фторъ не дѣйствуетъ на стекло; онъ индифферентенъ къ кислороду, водѣ и ртути; только водородъ и углеводороды вызываютъ его реакціи съ большимъ выдѣленіемъ тепла.

V. Твердые водородъ, кислородъ и воздухъ.

Воздухъ былъ въ первый разъ замороженъ проф. Дюаромъ въ 1893 г. Литръ жидкаго воздуха, подвергнутый усиленному испаренію, далъ прозрачное и безцвѣтное твердое тѣло, сохранившее свое состояніе въ теченіе получаса; подъ вліяніемъ магнита жидкій кислородъ направляется къ полюсамъ и выходитъ изъ студня азота, который составляетъ дѣйствительно твердую часть этого воздушнаго льда. Это тѣло можетъ сохраняться только въ пустотѣ или въ водородѣ, ибо оно тотчасъ же таетъ въ соприкосновеніи съ атмосферою и въ то же время сжижаетъ окружающій воздухъ. Условія отвердѣванія кислорода и азота разнятся тѣмъ, что упругость паровъ перваго тѣла ничтожна, а второго значительна. Твердый кислородъ можетъ быть полученъ лишь при помощи жидкаго водорода; онъ представляется въ видѣ прозрачнаго льда голубоватаго цвѣта. Самъ водородъ былъ замороженъ проф. Дюаромъ въ 1899 г. не безъ большихъ затрудненій. Этотъ продуктъ крайняго холода обладаетъ температурою таянія около 15° abs. и даетъ тогда пары упругости 55 mm. Онъ имѣетъ видъ совершенно чистаго льда безъ всякихъ признаковъ металла. Это былъ настоящій тріумфъ, когда 6 апрѣля 1900 г. слушателямъ, собравшимся въ амфитеатрѣ Королевскаго Института, проф. Дюаромъ былъ представленъ водородъ въ этомъ состояніи, полученномъ цѣною столькихъ усилій. Но съ другой стороны было надъ чѣмъ и задуматься: путь къ абсолютному нулю, открытый водородомъ, обрывался съ его отвердѣніемъ; и пока еще нѣтъ средствъ для изслѣдованія послѣд-

няго интервала температуръ, правда уже не большого, но особенно важнаго.

Эра „новыхъ газовъ" началась въ 1894 г., когда былъ выдѣленъ аргонъ; нѣсколько позже гелій былъ извлеченъ изъ клевеита и изъ другихъ рѣдкихъ рудъ. Криптонъ, неонъ и ксенонъ, какъ элементы атмосферы были найдены въ 1898 г. проф. Рамзеемъ и Траверсомъ при помощи спектроскопа. Эти послѣдовательныя открытія породили новые и неожиданные вопросы; они дали поводъ къ новымъ изслѣдованіямъ. Аргонъ сравнительно легко сжижается. Этотъ газъ, доставленный въ 1895 г. Рамзеемъ Ольшевскому, былъ обращенъ послѣднимъ въ безцвѣтную жидкость, кипящую при —187° Ц. подъ атмосфернымъ давленіемъ; плотность ея 1·5 относительно воды. Вблизи —190° Ц. аргонъ обращается въ стекловидное и прозрачное твердое тѣло.

Гелій болѣе летучъ, чѣмъ водородъ; слѣдовательно его сжиженіе дастъ еще болѣе низкую температуру; мы говоримъ — *дастъ*, ибо сжиженіе гелія есть фактъ, еще не совершившійся. Этотъ рѣдкій и чуждый нашей планетѣ элементъ есть единственное тѣло, которое къ концу XIX столѣтія осталось непобѣдимымъ въ своемъ газообразномъ состояніи. Впрочемъ нѣтъ причинъ сомнѣваться въ томъ, чтобы въ XX вѣкѣ жидкій гелій не доставилъ новаго торжества научнымъ изслѣдованіямъ. Тогда исполнится предсказаніе лорда Кельвина, утверждавшаго, что найдется тѣло, которое позволитъ уменьшить съ 15° на 5° то разстояніе, которое отдѣляетъ насъ отъ абсолютнаго нуля.

VI. Инертные элементы атмосферы.

„Инертные элементы" атмосфернаго воздуха образуютъ особый классъ тѣлъ, обладающихъ исключительными свойствами. Такъ они походятъ на ртуть своею одноатомностью (для всѣхъ этихъ газовъ отношеніе удѣльныхъ теплотъ = 1·666); ихъ физическая единица—частица тождественна съ химическою единицею, неправильно называемою атомомъ; поэтому плотности этихъ газовъ, отнесенныя къ водороду, равны половинамъ ихъ атомныхъ вѣсовъ. Отсутствіе химическаго сродства отчуждаетъ эти газы отъ всѣхъ другихъ тѣлъ; они способны немного растворяться въ нѣкоторыхъ жидкостяхъ и поглощаться извѣстными рудами, но они не образуютъ настоящихъ соединеній.

По этой причинѣ, а также вслѣдствіе того, что эти газы примѣшиваются къ другимъ тѣламъ лишь въ минимальныхъ количествахъ, обыкновенными пріемами нельзя было открыть ихъ присутствія. Ихъ назначеніе въ природѣ совершенно непонятно; можетъ быть, когда еще земля была въ возрастѣ туманности, они играли опредѣленную роль. Эти газы обладаютъ удивительною летучестью (особенно если принять во вниманіе ихъ плотности) и это обстоятельство дѣлаетъ ихъ очень важными въ глазахъ кріогенистовъ. Въ слѣдующей табличкѣ собраны нѣкоторыя цифры, характеризующія эти газы

	δ	∂	a	T_1	T_2	T_c	P_c	B
He	1·98	0·32	4		11			10^{-6}
Ne	10	1·02	10		34			10^{-5}
A	19·96	1·21	40	85	87	156	40	237.10^{-5}
Kr	40·88	2·15	82	104	121	211	41	10^{-6}
Xe	64	3·52	128	133	164	288	43	$0·5.10^{-7}$

Здѣсь δ означаетъ плотность газовъ относительно воздуха, ∂—плотность жидкостей относительно воды, a—атомный вѣсъ, T_1—температуру таянія, T_2—температуру кипѣнія, T_c—критическую температуру (всѣ по абсолютной шкалѣ), P_c—критическое давленіе въ метрахъ ртутнаго столба и B объемное содержаніе газовъ въ воздухѣ.

Лордъ Рэлей нашелъ, что преломляющая способность гелія лишь 0·1238, если для воздуха принять ее = 1; та же постоянная для водорода имѣетъ величину 0·469, т. е. въ четыре раза бо́льшую, тогда какъ плотности ихъ различаются въ обратномъ смыслѣ. Хотя эти газы не поглощаютъ замѣтнымъ образомъ свѣта, но они ярко свѣтятся подъ вліяніемъ электрическаго разряда; при этомъ гейслеровская трубка съ неономъ даетъ розовато-оранжевый свѣтъ, трубка съ криптономъ—блѣдно-фіолетовый и трубка

съ ксенономъ—небесно-голубой. Спектры этихъ газовъ чрезвычайно ярки и очень характерны.

Въ мемуарѣ „О спектрахъ электрическаго разряда въ жидкихъ кислородѣ, воздухѣ и азотѣ“ (Phil. Mag. 1894) проф. Ливингъ и Дюаръ отмѣтили, что во время дистиллированія жидкихъ кислорода и воздуха появляются двѣ новыя линіи 557 и 555; первая изъ нихъ приблизительно совпадаетъ съ главною линіею спектра сѣвернаго сіянія; позже проф. Рамзей и Траверсъ приписали ее криптону. Затѣмъ Дюаромъ въ 1897 г. наблюдались блестящія линіи неона, тогда еще не открытаго; трубка была наполнена газомъ, который выдѣляется Королевскимъ источникомъ въ Батѣ (King's well in Bath); этотъ колодезь драгоцѣненъ для добыванія рѣдкихъ элементовъ атмосферы.

VII. Холодный анализъ.

Можно было бы основать новый отдѣлъ химіи съ анализомъ газовъ при помощи холода, созданнымъ проф. Дюаромъ въ 1897 г.

Въ засѣданіи Лондонскаго Химическаго Общества 4 ноября этого года онъ описалъ приборъ, служащій для опредѣленія массы всякаго содержащагося въ воздухѣ элемента, не сжижающагося при—210° Ц. и не растворяемаго въ жидкомъ воздухѣ. Предварительными опытами было доказано, что этимъ новымъ способомъ можно открыть въ воздухѣ присутствіе одной тысячной водорода, что жидкій воздухъ растворяетъ водородъ въ количествѣ 1/5 своего объема. Гелій оказался растворимымъ въ азотѣ, хотя и въ меньшей степени. Съ помощью жидкаго водорода эти изслѣдованія продолжались и въ слѣдующіе годы.

Необычайная охладительная способность, которою обладаетъ водородъ, наглядно проявляется въ быстромъ произведеніи имъ пустоты; было вычислено, что въ запаянной трубкѣ, погруженной въ жидкій водородъ, упругость воздуха не можетъ превосходить одной милліонной атмосферы, если только къ нему не примѣшаны (хотя и въ минимальномъ количествѣ) газы болѣе упорные, чѣмъ кислородъ и азотъ. Иными словами холодомъ можно достичь такого же разрѣженія газовъ, какъ кипяченіемъ ртути. На практикѣ первый способъ оказался лучше, если только трубки приготовлены тщательно; пустота получалась столь совершенная, что трубку нужно было немного нагрѣть для того

чтобы чрезъ нее могла проходить электрическая искра. Спектроскопическое изслѣдованіе позволило установить рядъ чрезвычайно интересныхъ фактовъ. Полосы окиси углерода вообще существовали, но могли происходить отъ лучеиспусканія самого стекла; онѣ сопровождались линіями водорода и гелія, а также характерною желтою линіею неона. Такого рода опыты, начатые въ августѣ 1900 г., продолжались улучшеннымъ способомъ. Нѣсколько трубокъ было наполнено наиболѣе летучими газами атмосферы при слабомъ давленіи; всякій слѣдъ азота, аргона и углеродныхъ соединеній былъ изгнанъ при помощи охлажденія жидкимъ водородомъ; электрическая искра давала яркіе спектры водорода, гелія и неона вмѣстѣ со множествомъ линій неизвѣстнаго происхожденія. Непрерывный электрическій разрядъ заставлялъ эти трубки испускать яркій оранжевый свѣтъ; въ получаемомъ при этомъ спектрѣ фіолетовая и ультрафіолетовая части соперничаютъ въ интенсивности съ красною и желтою, какъ о томъ можно судить по спектрографу.

На чувствительныхъ пластинкахъ получались сильные отпечатки до длины волны въ 314, несмотря на непрозрачность стекла для такихъ частыхъ колебаній; правда фотографіи получались при помощи кварцевой оптической системы, но все-таки слѣдовало считаться со стекломъ самихъ трубокъ.

Такимъ способомъ проф. Ливингъ и Дюаръ измѣрили длины волнъ 300 линій спектровъ остаточныхъ газовъ атмосферы, несжижающихся жидкимъ водородомъ; за образецъ сравненія они приняли спектръ желѣза. Между изслѣдованными линіями 69 были признаны—съ достовѣрностью или лишь съ вѣроятностью—принадлежащими водороду, гелію и неону; кромѣ того—и это чрезвычайно важный фактъ—въ ультрафіолетовой части спектра замѣчаются четыре члена ряда водородныхъ линій; при обыкновенныхъ условіяхъ эти группы линій испускаются газами только послѣ тщательной ихъ очистки; здѣсь же онѣ сравнительно легко появляются въ смѣси разнородныхъ газовъ. Вотъ неожиданное указаніе на условія, которыя могутъ измѣнить спектръ водорода разныхъ звѣздъ. Далѣе представлялся вопросъ: не совпадаютъ-ли новыя линіи съ линіями туманностей, солнечной короны или сѣвернаго сіянія; но получить рѣшительнаго отвѣта не удалось. Можетъ быть, что „небулъ" еще скрытъ въ нашей атмосферѣ, хотя и имѣется въ минимальномъ количествѣ; дѣйствительно, одна изъ трубокъ, нѣсколько иначе

обработанная и сохранившая слѣды азота и аргона, давала слабую линію, которая была очень близка къ главной линіи газообразныхъ туманностей (500·7). Большое число второстепенныхъ линій, даваемыхъ этими трубками помѣщалось на мѣстѣ линій солнечной короны; но и тутъ необходимы подтвержденія прежде, чѣмъ считать вѣроятнымъ присутствіе коронія на землѣ. Наконецъ есть намекъ на совпаденіе со спектромъ сѣвернаго сіянія; нѣкоторыя изъ этихъ совпаденій, повидимому, дѣйствительны; конечно такой путь скорѣе всего приведетъ къ рѣшенію вопроса о происхожденіи сѣвернаго сіянія.

Употребленіе жидкаго водорода, какъ средства для анализа, позволяетъ спектроскопомъ разпознавать неонъ въ 25 куб. центиметрахъ обыкновеннаго воздуха по его желтой линіи (585·3). При сужденіи о чувствительности метода, надо помнить, что въ единицѣ объема воздуха имѣется лишь 1/40000 разсматриваемаго газа. Главная линія неона преобладаетъ въ спектрѣ остатка атмосферы, какъ линія близкая къ геліевой въ спектрѣ, даваемомъ наиболѣе летучею частью газы батскаго источника. Оба сорта этихъ лучей существуютъ въ обоихъ спектрахъ, но съ обратными яркостями. Изслѣдованія Дюара установили, что гелій неизмѣнный элементъ нашей атмосферы; они показали еще, что гелій всегда сопутствуетъ водороду. По недавнимъ опредѣленіямъ Готье во всякомъ образцѣ воздуха имѣется водородъ (1/5000 объема); если движенія его частицъ не измѣняются замѣтнымъ образомъ тяготѣніемъ, то потеря водорода атмосферою должна пополняться извнѣ или изнутри; можетъ быть подземные источники пополняютъ этотъ непрерывный расходъ, или же междупланетное пространство отдаетъ намъ эти блуждающія частицы, которыя само получило; такъ или иначе устанавливается родъ равновѣсія.

Въ докладѣ, сдѣланномъ 20 іюня 1901 г., проф. Ливингъ и Дюаръ сообщали результаты своихъ изслѣдованій надъ наименѣе летучими частями атмосферы. Ксенонъ и криптонъ, отдѣленные тщательною перегонкою отъ жидкаго воздуха, были изслѣдованы спектроскопомъ. Число измѣренныхъ линій для ксенона было 25, а для криптона—182.

VIII. Низкія температуры и жизненныя явленія.

Изслѣдованіе жизненныхъ явленій при низкихъ температурахъ имѣетъ капитальную важность. Наши представленія о сущ-

ности жизни и наши гипотезы, касающіяся ея исторіи на поверхности земли, должны принимать во вниманіе опыты надъ сопротивленіемъ живыхъ организмовъ крайнимъ температурамъ, какъ высокимъ, такъ и низкимъ. Верхній предѣлъ легко достижимъ: онъ никогда не превосходитъ 100° Ц. и обыкновенно значительно ниже. Теплокровныя животныя быстро погибаютъ на холодѣ; но энергія сопротивленія возростаетъ вмѣстѣ съ упрощеніемъ организаціи, и послѣдніе атомы жизни, если можно такъ назвать бактеріи, безнаказанно переносятъ безпредѣльный холодъ. Въ 1893 г. проф. Макъ Кендрикъ нашелъ, что часовая экспозиція на холодъ въ —182° Ц. недостаточна для стерилизаціи объектовъ. Образцы крови, мяса, молока, заключенные въ запаянныя трубочки, подвергались обычному разложенію, даже послѣ продолжительнаго погруженія въ жидкій водородъ. Точно также прорастательная способность сѣмянъ не была измѣнена такою обработкою.

Сначала было изслѣдовано дѣйствіе жидкаго воздуха на бактеріи и найдено совершенно безвреднымъ; послѣ двадцатичасовой выдержки при —190° Ц. не замѣтно ни малѣйшаго ослабленія въ ихъ способности размножаться или въ какой-нибудь функціональной дѣятельности. Фосфоресцирующіе организмы представили поразительный примѣръ прекращенія и возобновленія жизненныхъ явленій при послѣдовательныхъ замораживаніи и оттаиваніи; охлажденные въ жидкомъ воздухѣ, они не испускаютъ свѣта; но междуклѣточное окисленіе, вызывающее свѣченіе, тотчасъ же возобновляется съ новою силою, какъ только температура вновь поднимется. Недѣльное пребываніе въ жидкомъ воздухѣ оказалось не болѣе вреднымъ для жизни бактерій, чѣмъ восьмичасовое; такой же результатъ имѣлъ опытъ съ жидкимъ водородомъ. Самые нѣжные организмы ни мало не страдали отъ холода въ 21° abs. По всей вѣроятности жизнь существуетъ еще гораздо ближе къ абсолютному нулю.

Такимъ образомъ жизнь продолжается даже при тѣхъ условіяхъ, которые вполнѣ уничтожаютъ химическую дѣятельность и почти прекращаютъ молекулярную, и невольно возникаетъ вопросъ: нужны-ли химическія реакціи для продолженія жизни? Иногда говорили о возможности передачи споръ и живыхъ зародышей съ одной планеты на другую; слѣдуетъ думать, что холодъ небеснаго пространства не можетъ служить препятствіемъ къ такой передачѣ.

IX. Неразрѣшенныя задачи.

Развитіе химіи низкихъ температуръ есть одно изъ важнѣйшихъ событій въ исторіи науки за послѣднія десять лѣтъ истекшаго столѣтія. Сколько интереснѣйшихъ вопросовъ получило здѣсь отвѣтъ, сколько глубочайшихъ тайнъ природы было разъяснено! Единственное условіе, которое здѣсь остается неизмѣннымъ, заключается въ томъ, что предѣлъ *nec plus ultra* не можетъ отодвигаться по мѣрѣ того, какъ къ нему приближаются. Абсолютный нуль представляетъ неподвижный предѣлъ, который нельзя перейти; въ извѣстномъ смыслѣ это асимптота линіи будущихъ успѣховъ. И каждый шагъ, приближающій насъ къ цѣли, труднѣе всѣхъ предыдущихъ. Между многочисленными причинами, увеличивающими трудности, встрѣчается то обстоятельство, что скрытая теплота испаренія жидкости тѣмъ меньше, чѣмъ ниже ея температура кипѣнія; поэтому-то чѣмъ ниже температура кипѣнія охлаждающей жидкости, тѣмъ въ большемъ количествѣ надо ее имѣть для образованія желаемаго холода. Хотя мы никогда не достигнемъ абсолютнаго нуля, но нѣтъ сомнѣнія въ томъ, что разстояніе, которое теперь отдѣляетъ насъ отъ него, значительно сократится. Съ увѣренностью можно предсказать, что мы никогда не увидимъ „смерти вещества“. На томъ этапѣ, которымъ мы завладѣли, матерія отнюдь не представляется умирающею. На нее и внутри нея дѣйствуютъ силы: тяготѣніе и сцѣпленіе сохраняются нормальными. Въ чистыхъ металлахъ и въ лучшихъ проводникахъ токъ встрѣчаетъ замѣтное сопротивленіе. Самыя мелкія частицы тѣла еще поглощаютъ и измѣняютъ свѣтовыя колебанія. Химическое сродство повидимому замираетъ: различнаго рода матеріи перестаютъ реагировать одна на другую. Конечно, ближайшее кріогеническое завоеваніе можетъ измѣнить положеніе вещей, которое намъ теперь представляется. Въ нашихъ основныхъ представленіяхъ можетъ произойти переворотъ; мы переживаемъ критическую фазу научнаго развитія.

Такого переворота можно ожидать отъ сжиженія гелія. Условія успѣха были ясно изложены проф. Дюаромъ въ его недавнемъ бекеровскомъ чтеніи [1]); онъ можетъ быть достигнутъ тѣми средствами, которыя уже теперь примѣняются. Эту по-

[1]) См. стр. 125.

слѣднюю крѣпость газообразнаго состоянія нельзя уже считать неприступною, хотя взятіе ея, можетъ быть, обойдется и не дешево. Газообразный гелій представляетъ собою большую рѣдкость, а рѣдкость всегда стоитъ дорого. Сжижать гелій можно лишь тѣми же процессами, какими сжижается водородъ; однако въ качествѣ первоначальнаго охлаждающаго средства придется употреблять жидкій водородъ, а не жидкій воздухъ. Въ такомъ случаѣ мы получимъ жидкость, кипящую при 5° abs., но во столько же разъ болѣе дорогую, чѣмъ жидкій водородъ, восколько послѣдній дороже жидкаго воздуха. Эту драгоцѣнную жидкость нельзя будетъ цѣнить даже на вѣсъ золота; а этотъ металлъ не можетъ быть затраченъ на болѣе возвышенную цѣль, какъ на расширеніе производимыхъ въ Королевскомъ Институтѣ изслѣдованій, столь интересныхъ и столь много обѣщающихъ.

Съѣздъ преподавателей физики С.-Петербургскаго учебнаго округа 2—10 Января 1902 г.

Ф. Н. Индриксона[1]).

II. Утреннія засѣданія.

Всѣ утреннія засѣданія были посвящены демонстрированію приборовъ, при чемъ всѣ приборы были показаны по отдѣламъ. Выборъ приборовъ производился гг. членами Съѣзда наканунѣ, при обходѣ выставки. Такъ какъ въ столь короткое время не было возможности показать всѣхъ приборовъ, то, понятно, выбирались наиболѣе интересные. Кромѣ того показывались параллельно приборы разныхъ фирмъ и указывались ихъ достоинства и недостатки. Въ особо назначенные дни В. Л. Розенбергъ, Б. Ю. Кольбе, Я. И. Ковальскій и К. И. Дубровскій демонстрировали свои приборы, а проф. А. И. Садовскій прочелъ интересную лекцію объ опытахъ по свѣту съ проекціоннымъ фонаремъ. Изъ этого перечня видно, что описать всѣ приборы и опыты, которые демонстрировались на Съѣздѣ невозможно; поэтому настоя-

[1]) Окончаніе; см. стр. 133.

щее описаніе представляетъ слабую попытку дать нѣкоторыя свѣдѣнія о малой части тѣхъ приборовъ, которые демонстрировались. В. Л. Розенбергъ, Б. Ю. Кольбе и Я. И. Ковальскій были такъ любезны, что дали мнѣ свои отзывы о тѣхъ приборахъ, которые они демонстрировали, а А. А. Добіашъ любезно сообщилъ мнѣ краткій перечень того, что показывалъ на своей лекціи проф. А. И. Садовскій.

Механика.

1) *Динамометръ Ренье* для сдавливанія и вытягиванія (фирмы Эрнеке въ Берлинѣ) удобенъ для показыванія въ классѣ, такъ какъ—благодаря особому приспособленію—возможно привѣшивать грузы.

2) *Параллелограммъ силъ.* Показывались параллельно 2 прибора по Фрику (фирма Эрнеке) и по Бертрану (Рихтеръ, Спб.); всѣ приборы этого рода имѣютъ общіе недостатки: треніе веревокъ о блоки и треніе блоковъ объ оси. Эти недостатки не позволяютъ получать достаточно точныхъ результатовъ. Въ показанныхъ приборахъ замѣтно усовершенствованіе: чашки замѣнены крючками, на которые вѣшаются гирьки, что позволяетъ всему классу дѣлать отсчеты.

3) *Параллелограммъ импульсовъ.* Приборъ состоитъ изъ 2 ударниковъ, помѣщенныхъ подъ угломъ 90° другъ къ другу и расположенныхъ на доскѣ, обтянутой сукномъ. Доска ставится горизонтально. Ударники можно заставить дѣйствовать порознь или вмѣстѣ. Когда дѣйствуетъ одинъ ударникъ, то движеніе сообщается въ опредѣленную сторону. Если заставить дѣйствовать оба ударника одновременно, то движеніе происходитъ *приблизительно* по діагонали параллелограмма (Приборъ фирмы Рихтера катал. 1900, № 1170).

4) *Наклонная плоскость.* Были показаны приборы Рихтера (катал. 1900, № 1251) и М. Коля (катал. № 1495). Приборъ даетъ возможность демонстрировать равновѣсіе тѣла на наклонной плоскости, когда сила дѣйствуетъ 1) параллельно основанію и 2) параллельно длинѣ. Къ сожалѣнію дѣленія на приборѣ мелки, что не даетъ возможности дѣлать отсчетъ многимъ ученикамъ.

5) *Приборъ для демонстрированія сложенія параллельныхъ силъ.* Были показаны приборы Рихтера и Макса Коля. Въ общемъ устройство обоихъ приборовъ сходно и соотвѣтствуетъ тому описанію, которое можно найти въ учебникахъ, напр. Кра-

свинца; различія лишь въ нѣкоторыхъ мелочахъ. Такъ, въ приборѣ Рихтера счетъ дѣленій на горизонтальной линейкѣ начинается отъ одного изъ концовъ линейки, а въ приборѣ Макса Коля отъ средины линейки въ обѣ стороны; послѣднее не такъ удобно при отсчитываніи разстояній отъ точки приложенія равнодѣйствующей. Въ приборѣ Рихтера гирьки, служащія для уравновѣшиванія самой линейки, имѣютъ черную окраску для отличія отъ всѣхъ остальныхъ гирекъ, а въ приборѣ Макса Коля цвѣтъ ихъ не отличается отъ остальныхъ гирекъ; въ этомъ отношеніи прибору Рихтера слѣдуетъ отдать предпочтеніе, но зато на приборѣ Рихтера вѣсъ крючка для подвѣшиванія гирекъ не принятъ во вниманіе; правда этотъ крючекъ сдѣланъ изъ алюминія и вѣсъ его уравновѣшивается треніемъ, но это представляетъ все-таки неточность; на приборѣ М. Коля крючекъ сдѣланъ массивнымъ и вѣсъ его 100 gr. = вѣсу гирьки; поэтому при опредѣленіи величины равнодѣйствующей вѣсъ крючка прибавляется къ вѣсу гирекъ.

Присутствующими было высказано пожеланіе, чтобы сдѣлано было приспособленіе для закрѣпленія линейки на время перемѣны гирекъ.

6) *Рычагъ.* Изъ показанныхъ приборовъ выдѣляется рычагъ Б. Ю. Кольбе (фирма Эрнеке въ Берлинѣ); его преимущества: 1) шкала видна издали, 2) гири тоже хорошо видны, 3) можетъ служить для грубаго взвѣшиванія и 4) стрѣлка на концѣ рычага указываетъ равновѣсіе его.

7) *Лекціонные вѣсы,* изготовляемые фирмою Рупрехта въ Вѣнѣ (катал. Рихтера 1900 г. № 1455), могутъ служить для демонстрированія законовъ рычага, условій чувствительности вѣсовъ и т. д., а также для опредѣленія удѣльнаго вѣса гидростатическимъ взвѣшиваніемъ.

8) *Модель десятичныхъ вѣсовъ* (Максъ Коль, катал. № 1568). Приборъ устроенъ хорошо и обладаетъ достаточною чувствительностью; всѣ части прибора видны.

9) *Приборъ для демонстрированія удара шаровъ.* Были показаны два прибора, но оба обладали недостатками: у одного не было шаровъ изъ свинца, а у другого всѣ шары были одинаковой массы; кромѣ того у обоихъ подвѣсы шаровъ неудовлетворительны; поэтому показанные приборы нельзя считать пригодными для физическаго кабинета.

10) *Приборъ для демонстрированія равенства между угломъ паденія и угломъ отраженія.* Были показаны два прибора, но устройство ихъ нельзя признать удовлетворительнымъ: отраженіе происходитъ въ горизонтальной плоскости, при чемъ малѣйшее искривленіе поверхности, по которой катятся шары, заставляетъ ихъ уклоняться отъ даннаго направленія, что и наблюдалось при демонстрированіи того и другого прибора. Въ этомъ отношеніи прежнее устройство такихъ приборовъ лучше: шаръ *падалъ сверху* на мраморную доску, которую можно было наклонять какъ угодно.

Б. Ю. Кольбе демонстрируетъ свой очень простой приборъ для той же цѣли. Устройство его заключается въ слѣдующемъ: къ потолку или къ высоко поднятой перекладинѣ прикрѣпляется длинная нить, на нижнемъ концѣ которой привязывается массивный шарикъ изъ резины; подъ этимъ шарикомъ устанавливается столъ, къ одному изъ краевъ котораго придѣлывается вертикально деревянная доска (можно просто столъ придвинуть къ стѣнѣ, которая и будетъ служить вмѣсто доски); на столъ кладется большой деревянный транспортиръ. Все располагается такъ, чтобы при отвѣсномъ положеніи нити резиновый шарикъ *прикасался* въ вертикальной доскѣ, и чтобы центръ транспортира находился у этой доски, какъ разъ подъ шарикомъ. Тогда, отклонивши резиновый шарикъ въ сторону, выпускаютъ его изъ рукъ: шарикъ, ударившись въ доску, отскакиваетъ подъ угломъ, равнымъ углу паденія. Чтобы это было ясно видно для всѣхъ учениковъ, по окружности транспортира приклеиваются нижними концами бумажныя полоски разныхъ цвѣтовъ, торчащія вертикально, такъ чтобы полоски одинаковаго цвѣта находились подъ равными углами относительно нормали къ вертикальной доскѣ: шарикъ, двигаясь къ доскѣ, зацѣпитъ одну полоску бумаги и, отразившись, зацѣпитъ другую такого же цвѣта. Присутствующіе признали этотъ приборъ вполнѣ демонстративнымъ.

11) *Центробѣжная машина.* Были демонстрированы приборы фирмы Эрнеке въ Берлинѣ и Рихтера въ Спб. Оба прибора имѣютъ обыкновенное устройство и вполнѣ пригодны для своей цѣли. Изъ числа принадлежностей къ этому прибору новыми являются: a) къ муфтѣ регулятора Уатта придѣланъ рычажекъ, поворачивающій заслонку въ паропроводной трубкѣ, которая представлена въ разрѣзѣ, b) модель центробѣжнаго сепаратора и c) большая стеклянная чашка въ формѣ полушара,

внутри которой находятся нѣсколько шариковъ изъ различныхъ веществъ; при вращеніи шарики большей массы отбрасываются далѣе. Всѣ эти добавленія весьма полезны, но только размѣры шариковъ въ послѣднемъ приборѣ весьма малы, поэтому издали шарики совсѣмъ невидны: ихъ надо дѣлать большаго размѣра и окрашивать въ различные цвѣта.

При демонстрированіи опытовъ съ центробѣжною машиною В. Л. Розенбергъ показалъ весьма интересный опытъ. Въ стеклянный шаръ, который обыкновенно служитъ для опытовъ съ водою и ртутью, впустили на дно немного дыму и приборъ привели во вращеніе: дымъ образовалъ кольцо, расположенное по экватору шара; когда же вращеніе было остановлено, то кольцо, постепенно исчезая, образовало вихрь.

12) *Машина Атвуда.* Были показаны параллельно 3 прибора разныхъ фирмъ.

Фирма Рихтера выставила машину Атвуда (№ 1344 по катал. 1900 г.) и ящикъ гирь (№ 1345 того же каталога). Машина съ механическимъ спускомъ; главное достоинство составляетъ ящикъ гирь, чѣмъ достигается возможность измѣнять величину ускоренія при показываніи опытовъ съ этою машиною. При опытахъ слишкомъ замѣтно вліяніе момента инерціи колеса. Шкала раздѣлена на центиметры; издали дѣленія плохо видны. Машина эта весьма хороша также для практическихъ занятій учениковъ. Фирма Эрнеке выставила машину Атвуда съ механическимъ спускомъ весьма простой конструкціи; машина удовлетворительна и годится для классныхъ опытовъ, но привѣсковъ только 2 и дѣленія очень плохо видны издали. Фирма Макса Коля выставила машину Атвуда безъ механическаго спуска (для отсчета времени служитъ метрономъ), что требуетъ навыка при обращеніи съ нею; дѣленія на шкалѣ хорошо видны.

Ученіе о жидкостяхъ.

13) *Приборы для демонстрированія давленія жидкости на дно сосуда.* Приборы для демонстрированія давленія жидкости на дно сосуда съ открывающимися пластинками крайне неудобны и неточны, такъ какъ пластинка пристаетъ ко дну, и при отрываніи пластинки вода расплескивается. Лучше приборы другого типа, гдѣ дномъ служитъ резиновая перепонка, которая отъ давленія жидкости вытягивается; это движеніе перепонки системою рычаговъ передается указателю. Изъ такихъ приборовъ наиболѣе

цѣлесообразнымъ оказывается приборъ Нелла-Розенберга, посредствомъ котораго опыты производятся быстро и отчетливо (приборъ изготовляется фирмою Рихтера).

14) *Приборъ для показанія давленій въ жидкости.* Весьма демонстративнымъ является приборъ, изготовленный фирмою Эрнеке (катал. № 13). Приборъ состоитъ изъ большого стекляннаго сосуда, въ который опускается трубка, оканчивающаяся внизу воронкою; послѣдняя съ широкаго конца закрыта резиновою перепонкою, къ которой прикрѣпленъ рычагъ со стрѣлкою. Такъ какъ воронка можетъ вращаться около горизонтальной оси, то можно показать, что давленіе въ одномъ и томъ же слоѣ жидкости одинаково по всѣмъ направленіямъ. При поднятіи и опусканіи воронки можно показать измѣненіе давленія въ зависимости отъ глубины слоя.

15) *Фигуры Плато.* Проволочные контуры погружаются въ мыльный растворъ, который приготовляется слѣдующимъ образомъ: 20 гр. медицинскаго мыла (sapo medicatus) или же марсельскаго мыла, взятаго въ порошкѣ или наструганнаго, растворяютъ въ 400 кб. cm. воды съ глицериномъ (13 ч. глицерина и 12 ч. дистилл. воды; смѣсь воды съ глицериномъ должна быть уд. вѣса 1·135); растворъ погружаютъ въ водяную баню темпер. 24°—25° Ц. на 2 часа, а затѣмъ фильтруютъ чрезъ фильтровальную бумагу; фильтрованіе происходитъ очень медленно (1 литръ въ нѣсколько дней); растворъ оставляютъ стоять въ закупоренной бутылкѣ и начинаютъ употреблять недѣли чрезъ три; въ плотно закупоренной бутылкѣ смѣсь сохраняется очень долго.

Можно приготовить и твердыя пленки: при температурѣ 80° Ц. въ 500 gr. воды растворяютъ 45 gr. желатины и 12 gr. мыла марсельскаго или медицинскаго; къ смѣси прибавляютъ 10 кб. cm. глицерину. Употреблять жидкость слѣдуетъ при температурѣ 33°—30° Ц. При образованіи пленокъ на поверхности жидкости очень часто является пѣна, которую слѣдуетъ сдуть или снять пропускною бумагою.

Ученіе о газахъ.

16) *Взвѣшиваніе воздуха.* Изъ приборовъ, служащихъ для этой цѣли, наиболѣе цѣлесообразнымъ является стеклянный шаръ (весь изъ стекла) съ 2 стеклянными кранами. Этотъ приборъ можетъ быть наполненъ водою или спиртомъ для опредѣленія его емкости. Краны, помѣщенные съ 2 сторонъ этого шара, по-

зволяютъ высушить его, послѣ того, какъ жидкость будетъ вылита (Рихтеръ кат. № 1637, М. Коль № 2192).

17) *Законъ Паскаля.* Стеклянный шаръ съ пятью ртутными открытыми манометрами наиболѣе цѣлесообразенъ для демонстрированія закона Паскаля въ газахъ.

18) *Законъ Бойля-Маріотта.* Выставлено было два почти одинаковыхъ прибора, могущихъ служить для демонстрированія закона Бойля-Маріотта при давленіяхъ выше и ниже одной атмосферы [1]) (Рихтеръ кат. № 1576 и Максъ Коль кат. № 2100). Удобство ихъ заключается въ томъ, что изъ прибора не приходится выливать ртути. Повышеніе или пониженіе давленія производится поднятіемъ или опусканіемъ одного конца трубки.

19) *Воздушные насосы.* Воздушные насосы были выставлены обыкновенные съ двумя стеклянными цилиндрами и краномъ Бабине (Рихтеръ и Эрнеке). Изъ принадлежностей къ нимъ обращаетъ на себя вниманіе приборъ, служащій для показанія сопротивленія воздуха (кат. Рихтера № 1632 и кат. Эрнеке № 672).

Какъ извѣстно эти воздушные насосы не даютъ хорошаго разрѣженія воздуха; лучшіе изъ нихъ доводятъ упругость воздуха до 3 или 2 mm. Въ Физическій Институтъ Спб. Университета былъ выписанъ техническій насосъ „Geryk“, который можетъ дать весьма сильныя разрѣженія. На Съѣздѣ было демонстрировано разрѣженіе гейслеровой трубки этимъ насосомъ; достаточно было нѣсколькихъ качаній, чтобы получилось въ трубкѣ свѣченіе. Цѣна насоса невелика, около 50 руб. Изготовляются эти насосы въ Лондонѣ (The Pulsometer Engineering C^{0}, London, 61 & 63 Queen Victoria Street); можно получать и отъ М. Коля.

20) *Диффузія газовъ.* Были выставлены приборы Вейнгольда и Анселя (Рихтеръ № 1717 и 1719, Эрнеке 702). Оба прибора даютъ хорошіе результаты. Въ приборѣ Вейнгольда необходимо для лучшаго дѣйствія наполнять всю бутылку водою и оставлять воздухъ только въ пористомъ цилиндрѣ.

Ученіе о звукѣ.

21) *Приборъ Маха* (фирма Макса Коля, кат. № 2353). Приборъ даетъ *картину* стоячихъ волнъ какъ поперечныхъ колебаній, такъ и продольныхъ.

---

[1]) См. *Физическое Обозрѣніе* 1 т. (1901) стр. 96.

22) *Газопламенный манометръ и вращающееся зеркало* (Максъ Коль, катал. № 2453 и 2448). Весьма простой приборъ, которымъ можно показать характерныя движенія пламени отъ звуковыхъ колебаній. Зеркало можно приводить въ движеніе или центробѣжною машиною, или рукою.

Кромѣ этихъ приборовъ были показаны отъ фирмы Макса Коля: модель уха (кат. № 2649), открывающаяся органная трубка (можно видѣть ея устройство, кат. № 2459), 2 камертона (кат. № 2512), монохордъ (№ 2564) и приборъ для хладніевыхъ фигуръ (№ 2573); отъ фирмы Эрнеке: монохордъ по Вейнгольду (кат. № 6154) и акустическій столъ съ сиреною (№ 1); отъ фирмы Рихтера: сирена Кальяръ-ла-Тура (№ 2148), приборъ для демонстрированія звукопроводности (№ 2142) и камертоны.

Ученіе о теплотѣ.

23) *Теплопроводность.* Фирма Макса Коля выставила приборъ для показанія теплопроводности твердыхъ тѣлъ. Пять стержней различныхъ металловъ вставлены въ цилиндръ изъ красной мѣди, который проходитъ чрезъ двойную ширму и оканчивается шарикомъ. Этотъ шарикъ помѣщается въ пламени спиртовой лампочки. Стержни покрыты двойною солью іодистаго серебра и іодистой ртути; при обыкновенной температурѣ эта соль имѣетъ желтый цвѣтъ, но при нагрѣваніи она краснѣетъ. Чрезъ нѣкоторое время стержни краснѣютъ на большемъ или меньшемъ протяженіи, смотря по ихъ теплопроводности.

В. Л. Розенбергъ демонстрируетъ плохую *теплопроводность воды* слѣдующимъ простымъ опытомъ: въ длинную пробирку кладется нѣсколько кусочковъ льда, на которые насыпается слой дроби; затѣмъ въ пробирку наливается вода, въ которую опускаютъ еще нѣсколько кусочковъ льда. Пробирка нагрѣвается посрединѣ: въ верхней части вода доводится до кипѣнія, на днѣ же ледъ не успѣваетъ растаять.

Плохую теплопроводность воздуха В. Л. Розенбергъ демонстрируетъ слѣдующимъ образомъ: на мѣдный массивный цилиндръ плотно натягивается бумага; такой цилиндръ, обтянутый бумагою, помѣщаютъ въ пламя спиртовой лампочки, и бумага не загорается; если же между цилиндромъ и бумагою оставить тонкій слой воздуха, то въ пламени бумага сразу загорается.

24) *Конвекція газовъ* была демонстрирована В. Л. Розенбергомъ слѣдующими опытами:

а) Въ большую колбу посредствомъ стеклянной трубочки, доходящей до дна, напускается слой дыма; при слабомъ нагрѣваніи дна спиртовою лампою дымъ поднимается вверхъ.

b) Наполнивъ колбу дымомъ такъ, какъ указано въ предыдущемъ опытѣ, поворачиваютъ ее дномъ вверхъ и кладутъ на дно кусокъ снѣга или льда: дымъ опускается.

с) На треножникѣ кладутъ металлическую пластинку, на которую ставятъ колоколъ отъ воздушнаго насоса съ отверстіемъ наверху; образуютъ слой дыма на металлической пластинкѣ и затѣмъ нагрѣваютъ ее снизу въ одной точкѣ; получается высокій восходящій потокъ дыма.

25) *Калориметры.* Изъ приборовъ этого рода наиболѣе удобнымъ является двойной калориметръ, такъ какъ имъ можно показать, что различныя тѣла обладаютъ разными теплоемкостями. Съ такимъ приборомъ, конечно, нельзя опредѣлить теплоемкости тѣлъ, да и всѣ опыты, показываемые въ классѣ, имѣютъ лишь качественный характеръ.

26) В. Л. Розенбергъ весьма просто демонстрировалъ *явленіе переохлажденія тѣлъ:* въ пробирку кладутъ нѣсколько кусочковъ сѣрноватисто-натровой соли (гипосульфита) и расплавляютъ ихъ на лампѣ (хорошо довести даже до кипѣнія, чтобы не осталось ни одного нерасплавленнаго кристаллика). Затѣмъ пробирку съ расплавленною солью погружаютъ въ воду около 16° Ц. и соль остается жидкою; приборъ можно встряхивать. Если теперь бросить въ сосудъ маленькій кристалликъ соли и встряхнуть, то соль твердѣетъ и температура возрастаетъ до 55° Ц. При раствореніи этой соли въ водѣ температура понижается на 5° или 6°.

27) *Расширеніе воды при замерзаніи* В. Л. Розенбергъ демонстрировалъ слѣдующимъ образомъ: небольшая колбочка наполнялась подкрашенною водою и въ горло ея вставлялась гуттаперчевая пробка съ тоненькою стеклянною трубочкою; уровень жидкости въ трубочкѣ отмѣчался резиновымъ колечкомъ; колбочка погружалась въ снѣгъ съ солью; тогда уровень воды въ трубочкѣ сперва сильно понижался, а затѣмъ быстро поднимался.

28) *Охлажденіе воздуха при расширеніи и нагрѣваніе его при сжатіи.* Колбу споласкиваютъ нѣсколько разъ водою и закупориваютъ резиновою пробкою, чрезъ которую пропущена стеклянная трубочка, согнутая подъ прямымъ угломъ; на стеклян-

ную трубочку надѣваютъ резиновую. При высасываніи ртомъ воздуха изъ колбы, въ ней появляется туманъ, при вдуваніи воздуха — туманъ исчезаетъ. Туманъ виденъ, если поставить колбу передъ свѣчкою; опытъ можно производить нѣсколько разъ подрядъ. Если тумана не образуется, то надо запылить нѣсколько воздухъ въ колбѣ.

Опытъ Дрентельна. Колбу всполаскиваютъ теплою водою, плотно закрываютъ резиновою пробкою и помѣщаютъ подъ колоколъ воздушнаго насоса. При выкачиваніи воздуха пробка вырывается, и въ колбѣ образуется туманъ.

29) *Дифференціальный термоскопъ проф. Лозера.* Фирма Макса Коля выставила приборъ проф. Лозера, съ которымъ можно показать почти всѣ опыты по теплотѣ, какъ это объяснено въ особой брошюрѣ. Этотъ приборъ изготовляется фирмою Rob. Müller, Essen (Ruhr) и стоитъ отъ 250 фр. до 400 фр., смотря по числу принадлежностей; съ этимъ приборомъ можно показать около 100 опытовъ по теплотѣ; всѣ они производятся весьма легко и быстро.

Ученіе о свѣтѣ.

30) Профессоръ А. И. Садовскій объяснилъ, какъ нужно обращаться съ проекціоннымъ фонаремъ и что можно показать съ его помощью.

a) Для полученія „луча", выгоднѣе взять длиннофокусную линзу и пользоваться тѣмъ мѣстомъ пучка свѣта, гдѣ получается изображеніе отверстія.

b) Было показано расположеніе приборовъ для полученія хорошаго сплошного спектра. И здѣсь на призму нужно концентрировать свѣтъ линзою по возможности болѣе длиннофокусною ($F = 80$ cm.), чтобы изображеніе щели на экранѣ не было сильно увеличеннымъ; иначе спектръ получается широкимъ и размытымъ.

c) Былъ показанъ линейчатый спектръ мѣди. Въ нижнемъ углѣ, который въ случаѣ постояннаго тока долженъ быть анодомъ, выдолбливается чашечка и въ нее кладутъ кусочекъ мѣди; токъ, необходимый для удачнаго спектра, долженъ быть 40—50 amp.

d) Спектръ поглощенія былъ показанъ такимъ образомъ: лучъ прежде, чѣмъ попасть на призму, проходилъ чрезъ пары,

горящаго металлическаго натрія: получается чрезвычайно рѣзкая черная полоса поглощенія.

c) Были показаны дополнительныя цвѣта, причемъ обращалось вниманіе на то, что отклоняющія призмы надо ставить не вслѣдъ за собирающею линзою, но нѣсколько дальше: тамъ, гдѣ спектральные лучи уже разошлись, но еще не собраны вмѣстѣ линзою; послѣднее имѣетъ мѣсто вблизи экрана.

Приборы В. Л. Розенберга.

31) *Стержневые приборы.*

a) Законы отраженія. На доскѣ проведена горизонтальная черта и имѣются два металлическихъ стержня, изъ кототыхъ одинъ изображаетъ лучъ падающій, а другой—отраженный. При движеніи одного изъ стержней другой передвигается автоматически такъ, что уголъ паденія всегда равенъ углу отраженія.

b) Изображеніе точки въ плоскомъ зеркалѣ. Два прибора такого же устройства, какъ предыдущій, помѣщаются на одной доскѣ: стержни, изображающіе падающіе лучи, пересѣкаются въ одной точкѣ, а стержни, изображающіе отраженные лучи, — въ другой. При перемѣщеніи свѣтящей точки мнимое изображеніе перемѣщается автоматически.

c) Законы преломленія. На доскѣ проведена горизонтальная черта, изображающая границу между воздухомъ и прозрачнымъ тѣломъ. Одинъ изъ стержней изображаетъ лучъ падающій другой—преломленный; эти стержни скрѣплены такъ, что при движеніи одного стержня, изображающаго лучъ падающій, другой перемѣщается, какъ лучъ преломленный. При каждомъ положеніи стержней горизонтальная линейка даетъ возможность отсчитывать отношеніе sin угла паденія къ sin угла преломленія.

Такіе же приборы устроены для показанія хода лучей въ призмѣ, стеклахъ, вогнутомъ и выпукломъ зеркалахъ.

32) *Универсальный свѣтовой приборъ.* Этотъ приборъ даетъ возможность въ темной комнатѣ сдѣлать всевозможныя геометрическія построенія хода лучей. Источниками свѣта служатъ двѣ керосиновыя лампы. Кромѣ повѣрки законовъ отраженія и преломленія, имъ можно показать ходъ лучей въ призмѣ, стеклахъ, телескопѣ Кеплера, земной трубѣ и т. д.

33) *Полное отраженіе.* Стеклянный кубъ помѣщенъ въ коробку такъ, что поверхности стекла прилегаютъ къ стѣнкамъ коробки; въ двухъ смежныхъ граняхъ послѣдней вырѣзаны круг-

лыя отверстія. Если смотрѣть чрезъ отверстіе коробки, когда внутри находится кубъ, то внутренность коробки будетъ казаться черною, такъ какъ свѣтъ не можетъ пройти сквозь стеклянную призму съ преломляющимъ угломъ въ 90°.

34) *Приборъ для демонстрированія относительнаго показателя преломленія.* Приборъ состоитъ изъ горизонтальной доски, перпендикулярно къ которой укрѣплена спереди металлическая доска; въ послѣдней можно открыть одну или двѣ щели. Передъ щелью помѣщается стеклянный ящикъ, наполненный водою, а въ него погружена призма, но такъ, что половина призмы находится въ воздухѣ. За щелью ставятъ керосиновую лампу. Полоса свѣта въ нижней части проходитъ въ призму изъ воды, а въ верхней части изъ воздуха; получаются различныя отклоненія, что обнаруживается на экранѣ, вдоль котораго скользятъ лучи. Можно показать еще слѣдующій опытъ: на дно стекляннаго ящика устанавливаютъ полое двояко выпуклое стекло (склеенное изъ двухъ равныхъ отрѣзковъ выпаривательной чашки) и открываютъ двѣ щели, чрезъ которыя пропускаютъ два пучка свѣта; эти полосы не смѣщаются такимъ полымъ стекломъ. Если налить воды въ двояко-выпуклое стекло, то оно собираетъ лучи; если же ящикъ наполнить водою, а изъ двояко-выпуклаго стекла воду вылить, то лучи разсѣваются.

35) *Приборъ для смѣшенія цвѣтныхъ лучей.* Этотъ приборъ состоитъ изъ горизонтальной доски, къ которой прикрѣплена вертикальная доска съ двумя круглыми отверстіями. На другомъ концѣ первой доски устанавливаютъ экранъ изъ матоваго стекла. Передъ доскою съ отверстіями устанавливаютъ двѣ лампы такъ, чтобы на стеклянномъ экранѣ получились два свѣтлыхъ кружка, налегающихъ отчасти другъ на друга, что легко достичь, если разстояніе между лампами больше разстоянія между круглыми отверстіями. Если закрыть круглыя отверстія цвѣтными стеклами, то въ томъ мѣстѣ экрана, гдѣ круги налегаютъ другъ на друга, получается смѣшанный цвѣтъ. Если стекла приблизительно дополнительныхъ цвѣтовъ, то (отодвигая и придвигая одну лампу), можно сдѣлать бѣлою ту часть экрана, гдѣ круги налагаются другъ на друга. Если одно отверстіе закрыть сосудомъ съ параллельными стѣнками, содержащимъ растворъ двухромокаліевой соли, а другой такимъ же сосудомъ съ аммiачною солью, то общая часть свѣтлыхъ круговъ получится бѣлая; если же свѣтъ отъ одной щели проходитъ сперва чрезъ

одинъ изъ этихъ сосудовъ, а затѣмъ чрезъ другой, то получится зеленый кружокъ, что соотвѣтствуетъ смѣшенію красокъ.

36) Приборъ, посредствомъ котораго показывается, что съ поверхности всѣ тѣла отбрасываютъ бѣлый свѣтъ. Если заставить лучи падать подъ очень большимъ угломъ на кусокъ цвѣтной бумаги (черпаго, краснаго или зеленаго цвѣта) съ наклееннымъ на немъ крестомъ изъ бѣлой матовой бумаги, то фонъ представляется бѣлымъ, а крестъ чернымъ.

Изъ приборовъ были демонстрированы различные фотометры, призмы, стёкла, приборъ Кольбе для преломленія свѣта, фонари различныхъ системъ и съ различными источниками свѣта, цвѣтной кругъ изъ пластинокъ слюды (при вращеніи становится безцвѣтнымъ), коллекція картинъ Матцдорфа для стереоскопа и мн. др.

37) Затѣмъ В. Л. Розенбергъ показалъ слѣдующія субъективныя явленія зрѣнія:

a) *Однимъ глазомъ мы не привыкли опредѣлять разстояній.* Если однимъ глазомъ смотрѣть на два стержня, помѣщенныхъ въ разстояніи 1 или 2 саженей и расположенныхъ одинъ горизонтально, другой въ разстояніи 1/2 арш. отъ него вертикально, то кажется, что стержни пересѣкаются, образуя крестъ.

b) *Однимъ глазомъ мы не умѣемъ опредѣлять величины предмета и судимъ о его величинѣ только по углу зрѣнія.* Если будемъ смотрѣть однимъ глазомъ чрезъ узкую длинную трубку на монету, которую постепенно будемъ удалять отъ трубки, то монета покажется уменьшающеюся.

c) *Если изображенія получаются на несоотвѣтственныхъ частяхъ сѣтчатки, то предметъ кажется двойнымъ.* Въ крышкѣ коробки прорѣзываютъ два отверстія величиною съ глазъ; между отверстіями разстояніе равно разстоянію глазъ; смотрятъ въ эти отверстія на дно коробки, въ которомъ вырѣзана площадка въ □ cm. (причемъ это отверстіе приходится посрединѣ дна коробки); отверстіе кажется двойнымъ.

d) *Если ошибаемся въ разстояніи предметовъ, то ошибаемся и въ ихъ величинѣ.* Складывается вдвое проволочная сѣтка и приставляется къ глазамъ; за сѣткою на разстояніи 6—7 вершк. помѣщается листъ бѣлой бумаги: сѣтка кажется лежащею на этомъ листѣ. Если бумагу будемъ удалять отъ сѣтки, то размѣры сѣтки кажутся увеличивающимися.

Ученіе объ электричествѣ и магнитизмѣ.

Въ особые часы Б. Ю. Кольбе демонстрировалъ свои приборы по электричеству и опыты съ ними. На засѣданіяхъ было показано много приборовъ, описаніе которыхъ заняло бы много мѣста; поэтому придется ограничиться наиболѣе интересными изъ нихъ.

38) *Приборъ для объясненія распредѣленія магнитизма въ магнитахъ* (Максъ Коль кат. № 2135). Двадцать четыре маленькихъ магнитныхъ стрѣлокъ помѣщены на вертикальныхъ остріяхъ, укрѣпленныхъ въ горизонтальной доскѣ; при приближеніи магнита всѣ эти стрѣлки поворачиваются вокругъ своихъ осей. Поставивъ приборъ на магнитъ, можно показать силовыя линіи послѣдняго.

39) *Классный гальванометръ* (Гартманнъ и Браунъ Франкфуртъ на Майнѣ, кат. № 587). Приборъ можетъ служить какъ гальванометръ, какъ вольтметръ и какъ амперметръ. Шкала сдѣлана такъ, что видна издали. Чувствительность прибора большая.

40) *Электромагнитъ по Вейнгольду* (Максъ Коль, катал. № 2552). Съ приборомъ можно показать подъемную силу электромагнитовъ и діамагнитныя явленія. Для наибольшаго намагничиванія требуется токъ въ 10 amp.

41) *Дѣйствіе токовъ на токи* (Рихтеръ, кат. № 624-а; Максъ Коль, кат. № 2621). Наиболѣе удобнымъ является приборъ, состоящій изъ двухъ отдѣльныхъ частей: одного штатива съ проволокою и другого штатива съ подвижнымъ проводникомъ.

В. Л. Розенбергъ предлагаетъ показывать дѣйствіе токовъ на токи слѣдующимъ образомъ: укрѣпляютъ въ зажимы двѣ длинныя металлическія ленточки (какія употребляютъ для украшенія елокъ) и опускаютъ ихъ концы въ сосудъ съ жидкостью; если чрезъ такія ленточки пропустить токъ въ одномъ направленіи, то онѣ сближаются; если же чрезъ ленточки пропустить токи разныхъ направленій, то ленточки удаляются одна отъ другой.

42) *Индукція токовъ* (Эрнеке, кат. № 2434). Приборъ даетъ возможность ясно и удобно показать индукцію тока—токомъ и магнитомъ, а также принципъ телефона.

Кромѣ этихъ приборовъ демонстрировались лейденскія банки, вольтметры и амперметры различныхъ конструкцій, вольта-

метры, реостаты и шунты, лампы, регуляторы, катушки Румкорфа, трубки Гейслера, Крукса и Рёнтгена, телефоны, двигатели и приборы для опытовъ Маркони и Теслы. Приборы принадлежали фирмамъ Риккера, Гартмана и Брауна, Макса Коля, Ф. Эрнеке и Фр. Гугерсгофа.

Выставка физическихъ приборовъ на XI Съѣздѣ естествоиспытателей и врачей

В. С. Игнатовскаго.

Во время Съѣзда въ Физическомъ Институтѣ Спб. Университета была устроена—подъ руководствомъ и наблюденіемъ проф. О. Д. Хвольсона—выставка физическихъ приборовъ. Въ этой выставкѣ принимали участіе слѣдующія фирмы и лица: 1) В. Л. Франценъ (механикъ университета), 2) Рихтеръ, 3) Эбергартъ, 4) Урлаубъ (всѣ въ Спб.), 5) Гроссманъ и Кнёбль (Москва), 6) Фоссъ (Варшава), 7) Гартманъ и Браунъ (Франкфуртъ н/М), 8) Цейсъ (Іена), 9) Гугерсгофъ (Лейпцигъ), 10) Максъ Коль (Хемницъ), 11) Сименсъ и Гальске (Берлинъ и Спб.) и гг. В. В. Лермонтовъ, А. А. Эйхенвальдъ, Б. Ю. Кольбе, В. Л. Розенбергъ, Я. И. Ковальскій, К. В. Дубровскій и Н. А. Пашковскій.

Всѣ выставленные приборы можно раздѣлить на два класса. Къ одному изъ нихъ принадлежатъ приборы чисто научнаго характера, къ другому—приборы, предназначенные для средней школы.

I. Приборы чисто научнаго характера (фирмы: Цейсъ, Сименсъ и Гальске, Гартманъ и Браунъ и гг. В. Л. Франценъ, В. В. Лермонтовъ и А. А. Эйхенвальдъ).

Фирма *Цейсъ* (Іена) выставила между прочимъ слѣдующіе приборы: 1) Эпидіаскопъ, служащій для проектированія въ отраженномъ свѣтѣ. Предметы не должны быть больше 30 cm. въ квадр. и не очень рельефные. На экранѣ получается кругъ до 4 m. діаметра. Можно проектировать и въ проходящемъ свѣтѣ. Электрическій фонарь постояннаго тока на 50 amp. при 110 volt. снабженъ параболическимъ рефлекторомъ. Цѣна около 1000 руб.

2) Универсальный фонарь для всевозможныхъ научныхъ опытовъ, а также для проектированія въ отраженномъ свѣтѣ небольшихъ и неглубокихъ предметовъ. По силѣ свѣта слабѣе предыдущаго. Цѣна около 500 руб. 3) Бинокль-дальномѣръ, дающій возможность непосредственно измѣрить разстоянія разсматриваемыхъ предметовъ; основанъ на принципѣ стереоскопа. 4) Бинокли новаго типа съ призмами для увеличенія фокуснаго разстоянія. 5) Микроскопы различныхъ системъ. Въ особенности интересенъ микроскопъ, въ которомъ одновременно видны предметъ и рука наблюдателя, положенная соотвѣтственнымъ образомъ, такъ что можно непосредственно срисовать предметъ. У многихъ микроскоповъ устроено (по совершенно новому очень удобному способу), передвиженіе наблюдаемаго предмета по двумъ взаимно-перпендикулярнымъ направленіямъ. 6) Компараторъ съ двумя трубами для предметовъ длиною до 10 cm. и съ точностью до 0·001 mm. 7) Приборъ для опредѣленія параллельности плоскопараллельныхъ пластинокъ. 8) Стереоскопическій снимокъ неба вблизи Марса, сдѣланный въ двѣ послѣдующія ночи; на снимкѣ вышли Марсъ съ его двумя спутниками и неподвижныя звѣзды; въ стереоскопѣ послѣднія представляются на одной отдаленной плоскости, а Марсъ съ его спутниками впереди, висящіе въ пространствѣ.

Фирма *Сименсъ и Гальске* выставила приборы по научной электротехникѣ. 1) Магнитные вѣсы системы Дю-Буа для опредѣленія магнитной проницаемости; работаютъ съ наибольшею точностью, которая возможна въ подобнаго рода приборахъ. 2) Точные вольт-, ампер- и уаттметры, нечувствительные къ измѣненію числа перемѣнъ тока. Тѣ же приборы въ хрустальныхъ ящикахъ для демонстрированія на лекціяхъ. 3) Гальванометръ системы д'Арсонваля съ вертикальнымъ отчетомъ. Шкала и приборъ помѣщаются на одной стѣнѣ.

Универсальный гальванометръ, различныя сопротивленія, мостики для измѣренія сопротивленій, потенціометры и т. д.

Фирма *Гартманъ и Браунъ* выставила приборы такого же рода, какъ и фирма Сименсъ и Гальске. Главнымъ образомъ тепловые ампер- и вольтметры, изготовляемые исключительно этою фирмою. Былъ выставленъ довольно удобный и компактный приборъ для опредѣленія горизонтальной составляющей земного магнитизма.

Дешевый школьный универсальный гальванометръ, служа-

щій вольт- и амперметромъ. Были еще выставлены нѣсколько уаттметровъ, гальванометровъ съ зеркальнымъ отсчетомъ и т. д.

В. Л. Франценъ, механикъ Физическаго Института, выставилъ сдѣланные имъ приборы по метеорологіи для станцій Географическаго Общества, какъ-то: анемометры системы Робинзона, почвенные термометры, гигрометры Крова и Сосюра, приборы Любославскаго для опредѣленія снѣжнаго покрова, геліометръ ген. Величко, актинометры проф. О. Д. Хвольсона и Савельева, барометры по системамъ Краевича и Фосса, приборы для вывѣрки анероидныхъ барометровъ и т. д.

Кромѣ перечисленныхъ приборовъ В. Л. Франценъ выставилъ еще имъ же изготовленные приборы, служащіе для практическихъ занятій студентовъ въ Физическомъ Институтѣ, сдѣланные по рисункамъ В. В. Лермонтова и частью уже описанные въ этомъ журналѣ. Изъ этихъ приборовъ, въ особенности, интересны слѣдующіе: 1) приборъ для опредѣленія механической работы, мощности двигателя и коэффиціента полезнаго дѣйствія, 2) универсальный приборъ для показанія свойствъ газовъ, 3) объемомѣръ, 4) воздушный термометръ, 5) приборы для опредѣленія модуля упругости и коэффиціента сдвига, 6) приборы для опредѣленія коэффиціента термическаго расширенія твердыхъ тѣлъ и ртути, 7) приборы для опредѣленія скрытой теплоты пара и теплоемкости твердыхъ тѣлъ, 8) чувствительные гальванометры съ зеркальнымъ отсчетомъ и 9) мостики Уитстона, линейные, двухъ типовъ, позволяющіе достигать большой точности.

Проф. *А. А. Эйхенвальдъ* выставилъ приборы, служащіе для практическихъ работъ студентовъ, какъ-то: 1) приборъ для опредѣленія горизонтальной составляющей земного магнитизма, 2) мостикъ Уитстона, 3) приборъ для опредѣленія коэффиціента расширенія ртути по способу Дюлона и Пти и 4) приборъ для опредѣленія теплоемкости по способу смѣшенія.

Всѣ приборы отличаются крайнею простотою и дешевизною и изготовлены въ мастерской Инженернаго Училища въ Москвѣ.

II. Приборы, предназначенные для среднихъ учебныхъ заведеній (фирмы: Эбергартъ, Максъ Коль, Гугерсгофъ и Гроссманъ и Кнёбель и гг. Б. Ю. Кольбе, В. А. Розенбергъ, Я. И. Ковальскій, К. В. Дубровскій и Н. А. Пашковскій).

Эбергартъ (представитель фирмы Эрнеке въ Берлинѣ) и *Максъ Коль* выставили приборы, описанные въ соотвѣтственныхъ

каталогахъ и входящіе въ нормальный списокъ приборовъ для средн. уч. зав. М. Н. Пр.

Гугерсгофъ выставилъ приборы по физической химіи и много круксовскихъ трубокъ съ свѣтящимися минералами.

В. Ю. Кольбе выставилъ приборы, описанные въ его книгѣ. Особенно интересны приборы по статическому электричеству и приборъ для показанія отраженія и преломленія свѣта.

В. А. Розенбергъ выставилъ также свои приборы по свѣту и между ними большой приборъ для показанія отраженія и преломленія свѣта, позволяющій дѣйствовать въ незатемненной комнатѣ.

Гроссманъ и Кнёбель выставили стѣнныя картины, изображающія различныя техническія производства.

Н. А. Пашковскій показывалъ фонарь своего изобрѣтенія съ ацетиленовою горѣлкою.

Въ выставкѣ, какъ указано вначалѣ, участвовали еще фирмы:

Фоссъ въ Варшавѣ, единственная въ Россіи фирма, изготовляющая оптическіе приборы, отличающіеся высокою тщательностью отдѣлки. Были выставлены фотографическіе объективы, спектроскопы и нѣкоторые геодезическіе приборы.

Урлаубъ въ Петербургѣ, выставившая аппаратъ для лѣченія свѣтомъ. Этотъ аппаратъ всецѣло сдѣланъ въ Россіи, не исключая шлифовки кварцевыхъ линзъ.

Физическій кабинетъ.

---

11) *Резонаторъ звука.* Въ глубокій стаканъ съ водою опускаютъ нижній конецъ широкой трубки, верхній конецъ которой держатъ въ лѣвой рукѣ; надъ трубкою помѣщаютъ слабо звучащій камертонъ, который держатъ въ правой рукѣ; погружая постепенно трубку въ стаканъ, найдемъ такое ея положеніе, при которомъ звукъ камертона значительно усиливается.
